

Böhme, Stefan

Vergleichende Untersuchung von Montagevarianten in ihren Zuständen an einer vorgegebenen, tragenden Stahlbaukonstruktion einer Rauchgasentschwefelungsanlage unter statisch-konstruktivem sowie wirtschaftlichem Aspekt.

eingereicht als

BACHELORARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maschinenbau

Niesky, 2010

Erstprüfer: Prof. Dr. -Ing. Torsten Laufs

Zweitprüfer: Dipl. Ing. (FH) Jürgen Kopsch

Bibliographische Beschreibung:

Böhme, Stefan:

Vergleichende Untersuchung von Montagevarianten in ihren Zuständen an einer vorgegebenen tragenden Stahlbaukonstruktion einer Rauchgasentschwefelungsanlage mit statisch-konstruktiven sowie wirtschaftlichen Aspekt. 2010. –77 S. Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich Maschinenbau, Bachelorarbeit, 2010

Referat:

Ziel dieser Arbeit ist, eine geeignete Montagemethode für einen Bauabschnitt einer Rauchgasentschwefelungsanlage (REA) zu finden. Es wird ein Überblick von dem im Stahlbau, speziell im Bereich des Stahlhochbaus gebräuchlichen Montagevarianten gegeben. Statisch-konstruktive Sachverhalte werden im Bereich von Hilfskonstruktionen und Montagezuständen einzelner Baugruppen abgehandelt sowie wirtschaftliche Aspekte im Bezug auf Arbeiter- und Geräteplanung erläutert. Es wird die Komplexität eines solchen Montageprojektes aufgezeigt, welche durchleuchtet werden muss, um einen reibungslosen und wirtschaftlich rentablen Ablauf zu gewährleisten.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Zielstellung der Arbeit	2
1.3 Abgrenzung der Arbeit	3
 2. Theoretische Betrachtungen über Montagevarianten im Stahlbau	 4
2.1. Allgemeines	4
2.2 Aspekte über Einteilung von Montagemöglichkeiten	5
2.2.1 Einteilung nach dem Grad der Vormontage	7
2.2.2 Einteilung nach Richtung des Baufortschrittes	12
2.2.3 Einteilung nach Art der Ausführung der Konstruktion	14
2.2.4 Einteilung nach Art der Bestimmung von Bauteilgrößen	15
2.2.5 sonstige Montagevarianten	16
2.3 Montagegeräte	18
2.3.1 Hebezeuge	19
2.3.1.1 Fahrzeugkrane	20
2.3.1.2 Turmdrehkrane	23
2.3.2 Krafterzeuger und -verteiler	26
2.3.3 Bearbeitungsgeräte	26
2.3.4 sonstige Montagegeräte	27
 3 Darstellung von ausgewählten Montagevarianten am Beispiel der REA29	 29
3.1 Montagegegebenheiten	29
3.2 Variante 1: „Einzelteilmontage“	37
3.3 Variante 2: „Baugruppenmontage“	40
3.4 Variante 3: „komplette Vormontage“	44
3.5 Zeitablaufpläne/Kostenübersichten	46
3.5.1 „Einzelteilmontage“	48
3.5.2 „Baugruppenmontage“	52
3.5.3 „komplette Vormontage“	56

4 Betrachtungen zum Variantenvergleich	61
4.1 Zielstellung der Vergleichsuntersuchung.....	61
4.2 Bewertungssystem / Polyoptimierung	62
4.3 Vergleichskriterien.....	63
 5 Variantenvergleiche	67
5.1 Vergleich I am Beispiel der REA	67
5.2 Vergleiche II–VIII unter allgemeinen Schwerpunkten.....	76
 6 Zusammenfassung	80
 Anhang	82
Abbildungsverzeichnis	99
Literaturverzeichnis	101

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Gegenstand dieser Arbeit ist das aus Stahl hergestellte Grundgerüst einer Rauchgasentschwefelungsanlage (REA), welche im Zuge des Kraftwerkneubaus in Moorburg errichtet werden soll. An dem südlich von Hamburg gelegenen Standort entsteht ein Steinkohlekraftwerk mit einer Nennleistung von 1640 MW sowie einer Auskopplung von 650 MW Fernwärme. Auftraggeber ist die Vattenfall Europe AG, der in Deutschland tätige Teil der Vattenfall-Gruppe, welcher mit der Schaffung dieses Kraftwerks den stetig wachsenden Energiebedarf der Hansestadt decken will.

Bei der Verbrennung von Kohle entstehen schwefeloxid- sowie stickoxidhaltige Rauchgase die eine Umweltbelastung darstellen. Um einen solchen Ausstoß zu minimieren werden die Rauchgase vom Kessel aus durch verschiedene Filteranlagen geleitet. Zu Beginn werden die Stickoxide mit einem Ammoniak-Luftgemisch zu Stickstoff reduziert, nachfolgend Staubpartikel im Elektrofilter ausgefiltert. Am Ende des Reinigungsprozesses gelangen die Rauchgase in die REA. Hier werden Kalktröpfchen aufgesprüht, wobei der Kalk sich mit den Schwefeloxiden verbindet und in Form von Gips abgeschieden wird. Die gereinigte Luft wird anschließend an die Umgebung abgegeben.

Für die Montage des Grundgerüsts dieses Bauwerks ist die Firma IMO Leipzig GmbH zuständig, mit deren Zusammenarbeit diese Bachelorarbeit entstanden ist. IMO Leipzig GmbH ist ein Unternehmen das sich deutschland- und europa-weit mit der Montage von Stahlbaukonstruktionen beschäftigt. Die Geschäftsfelder reichen dabei vom Kraftwerksbau, über Errichten von Sport- und Industriebauten bis hin zur Montage von Brücken, Gittermasten, Silos und Sonderstahlbauten.

1.2 Zielstellung der Arbeit

Die Aufgabe dieser Bachelorarbeit besteht darin, eine geeignete Montagevariante für die Errichtung einer Rauchgasentschwefelungsanlage herauszufiltern. Es soll dabei ein Überblick von den im Stahlbau gebräuchlichen Montagemöglichkeiten gegeben werden. Anschließend sollen ausgewählte Varianten mit dem Beispiel der REA durchgespielt werden, wobei speziell folgende Punkte beleuchtet werden sollen:

- Montageablauf
- Arbeitskräfteeinsatz
- Einsatz von Hebezeugen / Montagegeräten
- Hilfskonstruktionen
- Montagezeitraum
- Montagekosten
- Zugänglichkeiten / Arbeitssicherheit

In der anschließenden Bewertung sollen die genannten Schwerpunkte miteinander verglichen werden um die geeignetste Montagevariante bestimmen zu können. Dabei sollen auch allgemeine Tendenzen zu der Stahlbaumontage aufgezeigt werden, welche für die Herangehensweise an die Planung anderer Montageprojekte herangezogen werden können.

1.3 Abgrenzung der Arbeit

Die folgenden Betrachtungen werden nur für den Bauabschnitt von +94m bis +113m der REA durchgeführt, der darunterliegende Teil der Konstruktion wird als bereits bestehend angesehen. Auf Dimensions- und Gestaltungsaspekte der Konstruktion an sich wird nicht eingegangen, da diese bereits vom Statiker und Konstrukteur festgelegt wurden. Statische und konstruktive Aspekte werden im Bezug auf die Notwendigkeit von Hilfskonstruktionen, einzelnen Montagezuständen oder Anschlagsystemen aufgezeigt. Wirtschaftliche Aspekte werden in der Kostenrechnung dargestellt und zusammengefasst. Dabei wird nur auf die planbaren Kostenfaktoren eingegangen um einen Vergleich möglich zu machen. Unvorhergesehene, kleinere Kosten, wie zum Beispiel eine Anmietung eines bestimmten Montagegerätes, bleiben somit unberücksichtigt. Dies ist vertretbar, da solche situationsbedingten Kosten bei jeder Art der Stahlbaumontage vorkommen und das Ergebnis somit nicht verfälscht wird.

2. Theoretische Betrachtungen über Montagevarianten im Stahlbau

2.1. Allgemeines

Unter dem Begriff der Stahlbaumontage versteht man das Zusammenbauen von Einzelteilen oder Baugruppen auf der Baustelle zu einer fertigen und tragenden Konstruktion, vornehmlich bestehend aus Stahl. Verfahren des Fügens und Schraubens stellen im Stahlbau den maßgebenden Anteil in der Schaffung von Verbindungen dar. Typische Bauwerke aus Stahl sind zum Beispiel Hallen-, Brücken- und Gittermastkonstruktionen, Industrie- und Kraftwerksbauten sowie Sportstätten.

Die Montage ist das letzte Glied in der Kette des Produktionsprozesses, muss aber immer schon in den vorhergehenden Schritten der Planung und Fertigung eines Projektes mit in Betracht gezogen werden. Dies ist für eine rasche, sichere und somit auch preisgünstige Errichtung eines Bauwerkes notwendig. Es können beispielsweise montagefreundliche Anschlüsse und Bauteilgeometrien geschaffen werden. Zugänglichkeiten an Montagestöße für die Monteure können sichergestellt oder für bestimmte Bauzustände notwendige Stütz- und Hilfskonstruktionen einkalkuliert werden. Die Möglichkeit der Einhaltung von Toleranzen bei der Montage ist auch schon in der Konstruktionsphase zu berücksichtigen, um beim Errichten des Bauwerkes keine aufwendigen Arbeiten zur Sicherstellung dieser leisten zu müssen.

Es ist stets das Ziel, unter Berücksichtigung aller, primär auf die Kosten, einwirkenden Faktoren die günstigste Gesamtvariante auszuwählen. Dabei stehen dem Planenden meist unterschiedliche Montagevarianten zur Verfügung. Diese werden stark geprägt von den vorherrschenden Baustellenbedingungen, den gewählten Bauteildimensionen und einsetzbaren Hebezeugen. Im Allgemeinen ist ein Trend zu verzeichnen, immer größere Bauteile bzw. Baugruppen in der Werkstatt vorzufertigen, um den Montageaufwand auf der Baustelle und somit Kosten zu verringern.

Möglich machen dies die Weiterentwicklungen von Hebezeugen und Transportmitteln, welche bedeutend höhere Lasten bewegen können als in den vorangegangenen Jahren. Witterungsunabhängigkeit und keine Beeinträchtigung durch andere Gewerke in den Fertigungshallen sind zudem vorteilhaft, um einen raschen und qualitativ hohen Fertigungsprozess zu erreichen. Eine folgende, etwas ältere Übersicht zeigt den Einfluss des Stückgewichts auf Montagestunden, Montagekosten und den Gesamtpreis einer Stahlbaukonstruktion.

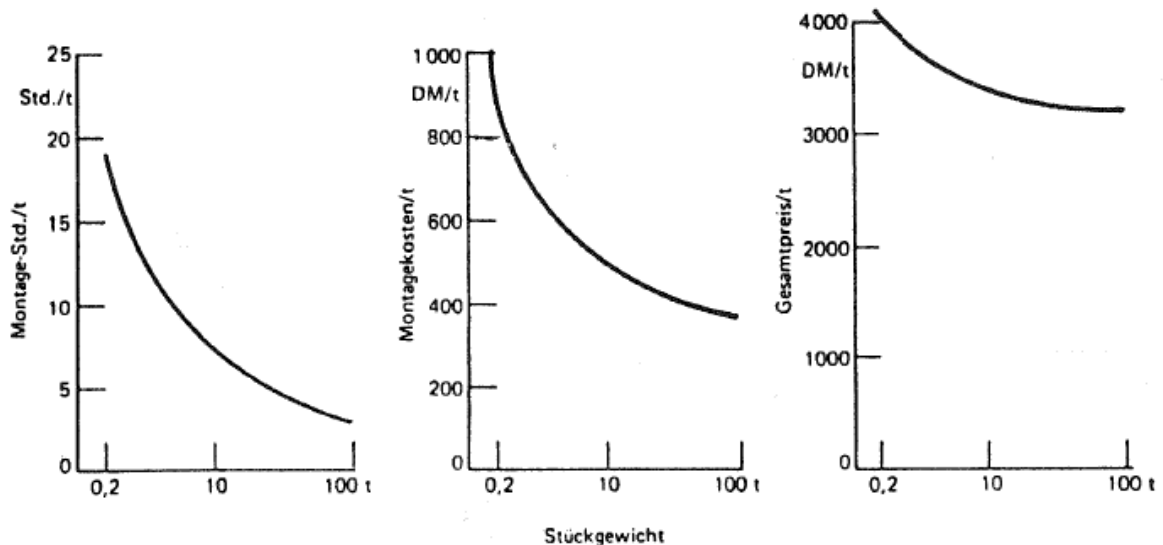


Abbildung 1: Einfluss des Stückgewichts auf Montagestunden, Montagekosten und Gesamtpreis einer Stahlbaukonstruktion

2.2 Aspekte über Einteilung von Montagemöglichkeiten

Montagen im Stahlbau sind immer sehr individuell durch ihre Prägung von den auf der Baustelle anzutreffenden Bedingungen. Eine genaue Trennung zwischen den jeweiligen Montageverfahren ist somit schwierig, da es bei fast jeder Stahlbaumontage zu Überschneidungen der angewandten Methoden kommt. Der allgemeine Stahlbau lässt sich grob in zwei Bereiche unterscheiden, dem Hochbau sowie dem Brückenbau. In den weiteren Betrachtungen werden Montagekonzepte des Brückenbaus nicht weiter einbezogen, da es sich bei der Konstruktion der REA um einen Hochbau handelt und Montagevarianten des Brückenbaus hier nie zur Anwendung kommen.

Stahlbaumontagen im Bereich des Hochbaus lassen sich prinzipiell in die nachfolgenden Kriterien und Bereiche einteilen.

- Grad der Vormontage
 - Einzelteilmontage
 - Baugruppenmontage
 - komplette Vormontage
- Richtung des Baufortschrittes
 - achsenweiser Baufortschritt
 - geschoßweiser Baufortschritt
 - flächiger Baufortschritt
- Ausführung der Konstruktion
 - geschraubte Konstruktion
 - gefügte Konstruktion
 - genietete Konstruktion
- Bestimmung der Bauteilgrößen
 - montagebestimmte Bauteilgrößen
 - tragwerksbedingte Bauteilgrößen
- spezielle Montagevarianten
 - seilunterstützte Montage
 - Hubschraubermontage
 - Hubdeckenmontage / Lift – Slab Montage
 - Hängehausmontage

2.2.1 Einteilung nach dem Grad der Vormontage

Bei diesem Kriterium wird danach unterschieden, ob Teile in der Werkstatt bzw. auf der Baustelle vormontiert werden und anschließend als Baugruppe montiert werden. Eine naheliegende Variante ist die der Einzelteilmontage und besteht darin, alle Teile einzeln einzubauen, eine Vormontage findet demzufolge nicht statt. Auch das komplette Gegenteil ist eine Möglichkeit der kompletten Vormontage, alle Einzelteile werden vor der Montage miteinander verbaut und somit der Arbeitsumfang Montage minimiert. Die Baugruppenmontage deckt den Bereich zwischen den beiden erstgenannten Varianten ab. Es werden jeweils bestimmte Einzelteile zu einer Baugruppe in der Vormontage zusammengebaut. Die Anzahl und Größe der Baugruppen ist dabei wieder sehr abhängig von dem Bauwerk an sich sowie den Bedingungen auf der Baustelle.

Diese Varianten finden bei Bauvorhaben im Industrie- und Anlagenbau stets Berücksichtigung und haben in dieser Bachelorarbeit die tragende Rolle. Aus diesem Grund werden nachstehend konkrete Vor- und Nachteile, die Anwendbarkeit, nötige Voraussetzungen und die Art des einzusetzenden Hebezeuges für diese Montagevarianten erörtert.

- **Einzelteilmontage**

Bei der Errichtung eines Bauwerkes wird jedes Teil einzeln angeschlagen und an den Einbauort mit Hilfe eines Hebezeugs gebracht, wo es montiert werden soll. Dabei ist nicht jeder Träger oder jedes Blech als Teil anzusehen sondern immer die in der Werkstatt gefertigten und auf die Baustelle angelieferten Bauteile bzw. Versandknoten. Bei diesem Verfahren werden die Bauteilgewichte gering gehalten, was die Anwendung kleinerer, meist mobilen Kranmodelle zulässt. Hohe Transport-, Aufbau- und Abbaukosten von großen Hebezeugen werden vermieden, müssen aber mit den entstehenden Kosten für den viel längeren Mietzeitraum der kleineren Modelle verglichen werden.

Die Platzverhältnisse spielen auch hier eine entscheidende Rolle. Es ist sicherzustellen, dass jedes Einzelteil ausgehend von seinem Lagerort an den Montageort gehoben werden kann, somit müssen Kranstandorte festgelegt werden. Ist das Positionieren des Hebezeuges von jeder Bauwerksseite her möglich oder gibt es gar nur einen möglichen Standort? Wenn Letzteres der Fall ist, wird der Abstand zwischen Drehpunkt des Kranes und dem Montageort des Bauteils, die sogenannte Ausladung, größer und ein stärkeres Hebezeug ist von Nöten. Es muss immer eine ausreichende Belastbarkeit des Untergrundes vorhanden sein, um ein sicheres Abstützen des Kranes zu gewährleisten. Der Lagerort des zu montierenden Teils muss nicht nur vom Standort des Kranes erreichbar sein, auch der Transport dahin und ein eventuelles Entladen vom Transportmittel mit einem anderen Kran müssen die Platzverhältnisse ermöglichen.

Ein weiterer Punkt zur Auswahl der Montagevariante sind die Geometrien und Lagen der Einzelteile sowie deren Anschlussform im Bauwerk. Ist es von Vorteil, ein zum Beispiel schräg zu montierendes, überstehendes Teil einzeln einzubauen oder ist es nicht doch stabiler und besser handhabbar wenn es mit anderen Teilen zusammen als Baugruppe montiert wird? Wie sind die Anschlüsse konstruiert? In welcher Lage befinden sie sich bzw. ist die Zugänglichkeit gegeben oder wie können diese realisiert werden? Kann der Monteur am Montageort die erforderlichen Tätigkeiten durchführen und Toleranzen oder Genauigkeiten einhalten? Alles Fragen welche durchdacht werden müssen um in Verbindung mit den anderen Kriterien der Montageplanung ein wirtschaftliches Konzept zu erstellen.

Das Erreichen des Montageortes bis zu einer Höhe von 40 m ist zur heutigen Zeit mittels Hebebühnen einfach und schnell möglich, was gegebenenfalls ein Einrüsten des Bauwerks erspart. Oberhalb 40 m ist immer eine Rüstung oder gesicherter Zugang notwendig, was die Überlegung anstößt, in Erdbodennähe vorzumontieren um die Rüstkosten auf das Nötigste zu minimieren, wenn man zum Beispiel nur alle 20 m einen Zugang gewähren muss statt alle 5 m.

Überlegungen die sehr von der Struktur des Bauwerks abhängen und wobei nie der Aspekt der Arbeitssicherheit vernachlässigt werden darf. Grundsätzlich ist zu sagen, dass eine Vormontage in Bodennähe besser praktikabel und sicherer ist, als Arbeiten auf einem Gerüst in luftiger Höhe. Schon der Material- und Arbeitsmitteltransport zur jeweiligen Arbeitsstelle ist schneller abzuhandeln, abzu- sehen von den entfallenden Auf- und Abstiegszeiten des Monteurs.

Die Variante der Einzelteilmontage ist am besten anwendbar bei kleineren Bauwerken mit einfachen und groben Strukturen, wo der Vormontageaufwand zu groß und nicht praktikabel wäre. Hallen oder kleinere Stahlbaukonstruktionen werden häufig mit diesem Verfahren aufgestellt. Bei größeren Bauwerken kann für den untersten Bauabschnitt eine solche Variante in Betracht gezogen werden, wenn es mit dem weiteren Montageverlauf und dessen Gegebenheiten sinnvoll anzuwenden ist.

- **Baugruppenmontage**

Bei diesem Verfahren kommt ein gewisser Grad der Vormontage zum Tragen. Bestimmte, aus der Werkstatt gelieferte Einzelteile werden am Boden zu einer Baugruppe vormontiert, als eine Hubeinheit angeschlagen und am Bauwerk montiert. Welche und wie viele Einzelteile zusammengebaut werden, hängt von der Struktur des zu errichtenden Bauwerks, den Einsatzmöglichkeiten von Hebezeugen, genauso wie von den Baustellenbedingungen bzw. Platzverhältnissen ab. Es wird angestrebt die Hubeinheit so zu gestalten, dass sie eine symmetrische Form besitzt und gut anzuschlagen ist. Sie muss im Montagezustand in sich stabil sein, was bedeutet, dass sie die im angehobenen Zustand sowie während des gesamten Vormontagezeitraums auftretenden Lastzustände ohne Schäden abtragen kann. Es sind dafür Untersuchungen und Nachweise durchzuführen sofern dies nicht schon in der Statik des Bauwerkes mit berücksichtigt wurde.

Je nach Art der zu errichtenden Konstruktion können zum Beispiel die Baugruppen achsweise zusammengebaut oder komplette Geschosse vormontiert werden. Es sollten dabei immer Varianten mit verschiedenen Baugruppengrößen und daraus erforderlichen Kranmodellen auf Wirtschaftlichkeit geprüft werden. Dies bedeutet, gestalte ich wenige große, schwere Baugruppen und benutze einen leistungsfähigeren, teureren Kran für einen kürzeren Zeitraum oder ist es günstiger viele kleine, leichte Baugruppen vorzumontieren, für dessen Endmontage ein kleinerer, kostengünstigerer Kran ausreichend ist, der aber für einen längeren Zeitraum gemietet werden muss? Wird ein Hebezeug vom Auftraggeber beigestellt, ist die Gestaltung der Baugruppen an die Leistungsfähigkeit des Kranes so anzulegen, dass die Montagearbeiten schnellstmöglich beziehungsweise wirtschaftlich verrichtet werden können.

Die Vormontage an sich kann auch als separater Bauprozess betrachtet werden. Ist die Sinnhaftigkeit einer Baugruppe vorhanden, muss überdacht werden ob und wie es möglich ist eine Vormontage durchzuführen. Es werden dafür kleinere Hubgeräte benötigt, ebenso wie ein Vormontageplatz, welcher sich wenn möglich in Nähe der Endmontageposition befindet, damit die Baugruppe mit dem Endmontagekran erreicht werden kann und ein kosten- und zeitaufwendiger Zwischentransport vom Vormontageort zum Punkt der Aufnahme mit dem Endmontagekran vermieden wird. Die Auflagerung des Vormontagesegments auf Lastböcken oder Ähnlichem und der eventuell notwendige Einsatz von Hilfskonstruktionen muss so geplant werden, dass ein Kippen, Knicken, Verrutschen Ausbeulen oder sonstige Schadensfälle der Baugruppe ausgeschlossen ist.

Bei der Endmontage muss die Zugänglichkeit zu den Baugruppenstößen wieder gewährleistet werden, was häufig nur mit einer Einrüstung oder einer Hilfskonstruktion bewerkstelligt werden kann. Baugruppen sollten daher so konzipiert werden, dass die Baugruppenstöße ein gewisses Schema haben, damit örtliche Rüstungen ausreichend sind oder spezielle Hilfskonstruktionen an mehreren, bestenfalls an allen Baugruppenstößen genutzt werden können.

Zum Beispiel befinden sich bei einem Bauwerk alle Stöße an den Ecken bzw. an den äußeren Stützen und liegen somit übereinander, so kann an den Ecken jeweils ein kleines örtliches Gerüst gesetzt werden, somit wäre die Rüstung entlang den Seitenwänden nicht erforderlich und kann eingespart werden.

Die Baugruppenmontage ist in vielen Varianten einsetz- und kombinierbar. Bei einem Bauwerk kann zum Beispiel mit einer Einzelteilmontage begonnen werden und mit einer Baugruppenmontage bis zum Ende hin fortgesetzt werden oder nur eine Baugruppe wird vormontiert und in den Verlauf einer Einzelteilmontage eingebracht. Aber vor allem bei großen, hohen Bauwerken kann durch eine Vormontage von Baugruppen eine wirtschaftliche Gesamtmontage realisiert werden. Das Zusammenbauen am Erdboden lässt sich im allgemeinen einfacher gestalten und stellt weniger Gefährdung und Mühe für den Monteur da, als in einer Höhe die nur über Rüstungen oder Ähnlichen erreicht werden kann. Zum Beispiel Industrieanlagen, Kraftwerksbauten und Sportstätten werden sehr häufig mit dieser Variante montiert.

- **komplette Vormontage eines Bauwerkes**

Ein gesamtes Bauteil eines Bauwerkes wird an einem Vormontageplatz zusammengebaut, wenn nötig zum letztendlichen Standort transportiert und in einem Hub montiert. Dieses Verfahren findet Anwendung bei Konstruktionen, dessen Endmontage in sehr kurzer Zeit erfolgen muss oder wo die Zugänglichkeit für Monteure stark begrenzt ist, und nur durch sehr hohen Aufwand realisiert werden kann. Es ist daher sinnvoll den Montageaufwand bei der Endmontage auf das Nötigste zu reduzieren und den Hauptteil der Arbeiten in Bereichen mit genügend Platz und Zeit zu erledigen. Auswahlkriterien für das Hubgerät spielen dabei eine untergeordnete Rolle, es sollte nur sichergestellt werden, dass es überhaupt ein Modell bzw. eine Variante gibt, die das Bauwerk in die gewünschte Position heben kann.

Treten bei einem Projekt Bauwerke gleicher Konstruktionsweise auf, wie zum Beispiel Silos, Kanal- oder Bandbrückenteile bei Industrieanlagen, kann eine Art von Serienproduktion auf dem speziell dafür eingerichteten Vormontageplatz einen Zeit- und Kostengewinn einbringen. Diese Bauteile werden auf einer extra dafür errichteten und konzipierten Vormontagefläche, eventuell auch einer Halle um bei größeren Schweißarbeiten witterungsunabhängig zu sein, montiert. Die jeweiligen Arbeitsschritte sind standardisiert und gute Zugänglichkeiten sowie Platzverhältnisse für den Monteur ermöglichen ein rasches Errichten der Teile, welches nach der Fertigstellung zum endgültigen Standort transportiert und aufgestellt wird.

Wenn diese Montagevariante angewandt wird, handelt es sich meist um sehr spezielle Bauwerke oder Umstände auf der Baustelle. Brücken werden manchmal komplett eingehoben, wenn zum Beispiel eine zu überspannende Auto- oder Wasserstraße bzw. Gleise dafür gesperrt werden müssen und dieser Zeitraum möglichst gering gehalten werden soll. Industrieschornsteine aus Edelstahl werden ab und an vollständig vormontiert und dann aufgestellt, was das Einrüsten unnötig macht und eine rasche Montage ermöglicht.

2.2.2 Einteilung nach Richtung des Baufortschrittes

Bei der achsweisen Montage, zum Beispiel oft bei Hallenbauwerken der Fall, wird Achse für Achse der Stahlbau komplett montiert, der Baufortschritt verläuft in eine bestimmte vertikale Richtung. Vorteilhaft an dieser Variante ist, dass andere Gewerke, zum Beispiel der für Verkleidung oder Innenausbau, bereits ihre Arbeiten beginnen können obwohl die Stahlbaumontage noch nicht komplett abgeschlossen ist. Bei der Einsatzplanung des Hebezeugs sowie der Transportfahrzeuge ist bei den stetig voranrückenden Montageplätzen auf genügend Platz sowie Bodenfestigkeit zu achten.

Einen festen Standort hingegen hat das Hebezeug bei der geschossweisen Montage. Hierbei wird vom Boden beginnend Etage für Etage der Stahl montiert. Ist der Stahlbau an einem Geschoss abgeschlossen und beginnt mit dem nächsten, können wie bei der achsweisen Montage bereits andere Gewerke ihre Arbeit aufnehmen. Durch das übereinander Arbeiten der verschiedenen Firmen und den um das Bauwerk begrenzten Platz sind jedoch vermehrt Absprachen untereinander im Bezug auf Materialtransport und Einhaltung der Sicherheitsvorkehrungen notwendig. Dies erschwert und verlangsamt die Arbeiten, zudem benötigen die immer größer werdenden Hubwege mehr Zeit während der Montage. Kaum in einer anderen Form der Montage sind Hochhäuser aber auch hohe Industriebauten wie das Kesselgerüst eines Kohlekraftwerkes zu errichten.

Ein flächiger Baufortschritt ist häufig bei großen Raumfachwerken wie zum Beispiel von stützenfreien Veranstaltungshallen zu sehen. Hier ist ein gleichzeitiges Arbeiten von verschiedenen Gewerken schwer möglich, da erst eine komplette Stahlbaumontage erfolgen muss, damit das Fachwerk seine Tragfähigkeit erreicht. Häufig werden Dachelemente am Boden vormontiert und anschließend komplett an ihre endgültige Lage mit entsprechendem Hebezeug gehoben. Es ist aber auch möglich ein solches Dachtragwerk mit auf den Stützen positionierten Hydraulikaggregaten an ihre Endposition hochzuziehen.

An diesem Beispiel ist die Schwierigkeit einer genauen Einteilung der allgemeinen Montagevarianten bzw. deren Überschneidung deutlich zu erkennen. Da im genannten Beispiel das Tragwerk aus statischen Gründen erst vollständig vormontiert wird und dies aus wirtschaftlichen Gründen am Boden passiert um Einrichtungen und lange Arbeitswege zu sparen, kann man diese Montagevariante auch dem Punkt 2.2.1 zuordnen, dem kompletten Vormontieren eines Bauwerkes.

2.2.3 Einteilung nach Art der Ausführung der Konstruktion

Hierbei kann man im Stahlbau in 3 Arten bei der Schaffung von Verbindungen unterscheiden. Die Konstruktion kann geschraubt, gefügt oder genietet sein. Letzteres ist sehr aufwendig und wird in der heutigen Zeit fast nicht mehr praktiziert, findet eventuell noch Anwendung bei Reparatur- und Restaurationsarbeiten an alten Bauwerken wie Brücken oder Bahnhöfen. Dabei wird von einer Seite der zu verbindenden Bauteile der Niet durch das Nietloch gesteckt und von der anderen Seite mit speziellem Werkzeug der Schließkopf des Nietes durch Krafteinwirkung und Verformung hergestellt. Geschieht dieser Vorgang bei Raumtemperatur spricht man vom Kaltnieten und eine formschlüssige Verbindung wurde geschaffen. Bei dem Warmnieten wird der Niet für die Bearbeitung erhitzt, durch die spätere Abkühlung und damit eintretende Schrumpfung entsteht neben der formschlüssigen Verbindung auch eine kraftschlüssige.

Ebenfalls wie das Nieten stellt das Fügen eine nicht wieder lösbare Verbindung dar. Speziell im Stahlbau spricht man beim Fügen von Schweißen, überwiegend mit den Verfahren des Lichtbogenhandschweißens (E-Hand) und dem Metallschutzgasschweißen (MSG). Es werden unter Zufuhr von Wärme die zu verbindenden Stoffe miteinander verschmolzen und eine stoffschlüssige Verbindung geschaffen.

Wird eine Konstruktion verschraubt, werden kraftschlüssige Verbindungen hergestellt. Ein mit Gewinde versehener Bolzen (Schraube) wird durch das Schraubenloch gesteckt und von der anderen Seite mit einem Gegenstück mit innenliegendem Gewinde (Mutter) festgezogen. Eine zusätzliche formschlüssige Verbindung erreicht man bei der Verwendung von Passschrauben, für die der Lochdurchmesser genau auf den Schaftdurchmesser der Schraube aufgerieben wird.

Mit welcher Verbindungsart die Konstruktion bzw. bestimmte Teile von ihr gefertigt werden soll, entscheidet der Konstrukteur mit Blick auf die Umsetzung der vorgegebenen Statik. Er sollte aber auch die Vor- und Nachteile des Fügens und Schraubens kennen und beachten, um somit eine montagefreundliche Konstruktion zu schaffen. Um spätere Komplikationen in der Montage zu vermeiden ist es gerade bei der Thematik des Verbindens von Bedeutung, dass der Konstrukteur mögliche Montagekonzepte kennt oder mit dem Montageleiter bespricht, um geeignete Anschlussformen und Bauteilgeometrien zu wählen.

2.2.4 Einteilung nach Art der Bestimmung von Bauteilgrößen

Dies ist ein sehr weitläufiger Ansatzpunkt zur Einteilung der Montagevarianten. In der Abwicklung der montagebestimmten Bauteilgröße werden Form und Dimension an die Art und den Ablauf der Montage angepasst, welche unter Berücksichtigung spezieller Umstände auf der Baustelle ausgewählt wird. Die Teile oder das Bauwerk selbst wird also so konstruiert, damit unter gegebenen Umständen überhaupt eine Montage stattfinden kann, was sehr häufig im Bereich des Brückenbaus Anwendung findet.

Werden im Gegensatz dazu die Bauteilgrößen tragwerksbedingt gestaltet, steht der Fokus auf den statischen Aspekten eines Teils. Die Konstruktion wird so gegliedert, dass zusammengebaut Teile oder ein Bauteil an sich genügend Stabilität besitzt um ohne weitere Hilfseinrichtungen montiert werden zu können. Bei der Gestaltung von kleineren Tragwerken wird diese Herangehensweise zum Beispiel genutzt um eine rasche Montage zuzulassen.

2.2.5 sonstige Montagevarianten

- **seilunterstützte Montage**

Dieses Verfahren findet nur bei schwer zugänglichen, meist hochgelegenen Montageorten Anwendung. Der mit persönlicher Schutzausrüstung ausgestattete Monteur erreicht seinen Arbeitsplatz mit Hilfe eines an geeigneter Stelle angeschlagenem Seil, an dem er sich zum Montageort herablässt und sichert. Dabei ist nach der Deutschen Betriebssicherheitsverordnung darauf zu achten, dass Arbeiten immer mit zwei voneinander unabhängigen Seilen (Zugangs- und Positionierungsseil) durchgeführt werden müssen, was eine redundante Sicherung darstellt und somit einen Absturz ausschließt.

Vorteil dieser Variante ist das Einsparen der Rüstung um den Montage- bzw. Arbeitsort, was vor allem bei schwierigen Bauteilgeometrien Zeit, Kosten und Platz spart. Die wenigen Möglichkeiten des Arbeiters zur Mitnahme von Werkzeug oder Material lässt dieses Verfahren nur bei kleineren Maßnahmen sinnvoll und wirtschaftlich erscheinen. Bei größeren Vorhaben muss zeitlich und kostenbezogen abgewogen werden, ob eine seilunterstützte Variante gegenüber den Konzepten der Einrüstungen, welche ein besseres Arbeitsumfeld mit mehr Abstellplatz und besserer Standfestigkeit für den Monteur bieten, sinnvoll ist. Mit in die Betrachtungen einzubeziehen ist, dass speziell geschultes Personal vorhanden sein muss, um diese Art der Montage durchführen zu können.

Durch die begrenzten Möglichkeiten des Monteurs ist dies eher eine Montagevariante für kleinere auszuführende Arbeiten. Zum Beispiel nachträgliche Montagen oder Nachbesserungsarbeiten an einem bereits fertiggestellten Bauwerk können damit meist kostengünstig getätigt werden.

- **Hubschraubermontage**

Mittels eines Lastenhubschraubers werden die einzubauenden Teile an den Montageort geflogen und noch am Hubschrauber hängend montiert beziehungsweise am geeigneten Platz abgesetzt und anschließend eingebaut. Es ist eine eher selten angewandte Montageart deren größter Vorteil darin besteht, schwer zugängliches Gelände oder Montageorte auf dem Luftweg zu erreichen. Somit ist keine aufwendige Baustelleneinrichtung zum Beispiel für den Kranstandort notwendig und unwegsame Transporte entfallen. Beispielsweise Liftanlagen werden häufig nur bis zu gut befahrbaren Stellen transportiert und anschließend mittels Hubschrauber zum Endmontageort am Berghang geflogen und montiert. Lasten bis 20 Tonnen können transportiert werden, wobei diese Höchstgrenze sehr große und teure Lasthubschrauber erfordert. Bei alltäglichen Lastflügen mit kleineren Modellen bewegt sich die maximale Traglast zwischen 1 – 2,5 Tonnen, was im Bezug auf den Stahlbau sehr gering ist und somit dieser Variante seinen Nachteil verleiht. Die Wetterbedingungen müssen ebenfalls stimmen um einen Einsatz zu ermöglichen, wobei heutzutage moderne Stabilisierungsprogramme schon präzise Flüge auch bei starkem Wind zulassen. Häufig finden Hubschraubermontagen Einsatz bei sehr hohen Bauwerken, zum Beispiel bei Industrieschornsteinen, Strommasten oder Funktürmen, wo die Bereitstellung eines Kranes welcher diese Hubhöhe besitzt oft zu aufwendig ist und somit die teurere Variante darstellt.

- **Hubdecken Montage / Lift – Slab Montage**

Bei diesem Verfahren werden auf der Baustelle vormontierte Teile mit Hilfe von Hydraulikaggregaten in die Montageposition gehoben. Die dafür nötigen Pressen oder Zugzylinder sind dabei an den Stützen oder anderen geeigneten Bauteilen befestigt und mittels Stahlseilen am Bauteil verbunden. Die Pressen sind synchron geschaltet und ziehen somit das Bauteil über die Stahlseile gleichmäßig an die gewünschte Position. Mit der auch „Litzenhubverfahren“ genannten Montage können sehr schwere Bauteile in großen Höhen gehoben und montiert werden. Die Hubgeschwindigkeiten liegen bei etwa 1 Meter pro Stunde. Bei Kohlekraftwerken wird mit diesem Verfahren die Kesseldecke mit einem Gewicht von über 1000 t auf ihre Position in 100m Höhe gezogen.

- **Hängehausmontage**

Die Grundlage für diese Variante bildet ein tragendes Grundgerüst oder ein Betonkern eines Bauwerks. An dessen oberen Ende sind Träger oder andere Bauteile angebracht die zur Abtragung der Hängelasten dienen. Im folgenden werden die nächsten Bauteile von oben beginnend montiert, sie werden jeweils an den darüber liegenden Konstruktionen abgehängt. Der Großteil der Last aus den restlichen Anbauten wird somit von der Deckenkonstruktion getragen. Zum Beispiel Bühnen von einem Kesselhaus eines Kohlekraftwerks werden mittels einer solchen Konstruktions- sowie Montagevariante an der Kesseldecke aufgehängt.

2.3 Montagegeräte

Unter diesem Begriff fallen alle Gerätschaften die für die Montage einer Stahlkonstruktion auf einer Baustelle nötig sind. Nach dem „Montage Gerätebuch“ vom Deutschen Stahlbau-Verband wird dabei in 8 Gerätegruppen unterschieden:

- Hebezeuge
- Krafterzeuger und –verteiler
- Bearbeitungsgeräte
- Transportfahrzeuge
- Baustellenunterkünfte, Mess-, und Kontrollgeräte
- Aufstellgerüste / Hilfskonstruktionen
- Wasserfahrzeuge
- Pumpen

Im Folgenden soll auf die verschiedenen Gruppen spezifisch eingegangen werden um einen Einblick in die bei der heutigen Stahlbaumontage verwendeten Montagegeräte zu geben. Schwerpunkte dabei sind die 3 erstgenannten Punkte da diese Geräte auf fast jeder Baustelle erforderlich sind und schon in der frühzeitigen Montageplanung Berücksichtigung finden sollten.

2.3.1 Hebezeuge

Hebezeug ist der Sammelbegriff für alle Geräte, mit denen Bauteile oder Material auf eine höher- oder tieferliegende Ebene transportiert werden können. Dazu gehören im Stahlbau vor allem die Krane, aber auch Hebebühnen, Ketten-, Flaschen- und Seilzüge und Winden zählen darunter, wobei nur auf die Krane spezifisch eingegangen werden soll, da die Kranauswahl in der Montagevorplanung eine entscheidende Rolle spielt. Andere Arten von Hebezeugen gehören meist zur Grundausstattung einer Montagefirma, ihr Einsatz ist situationsbedingt und kurzfristig.

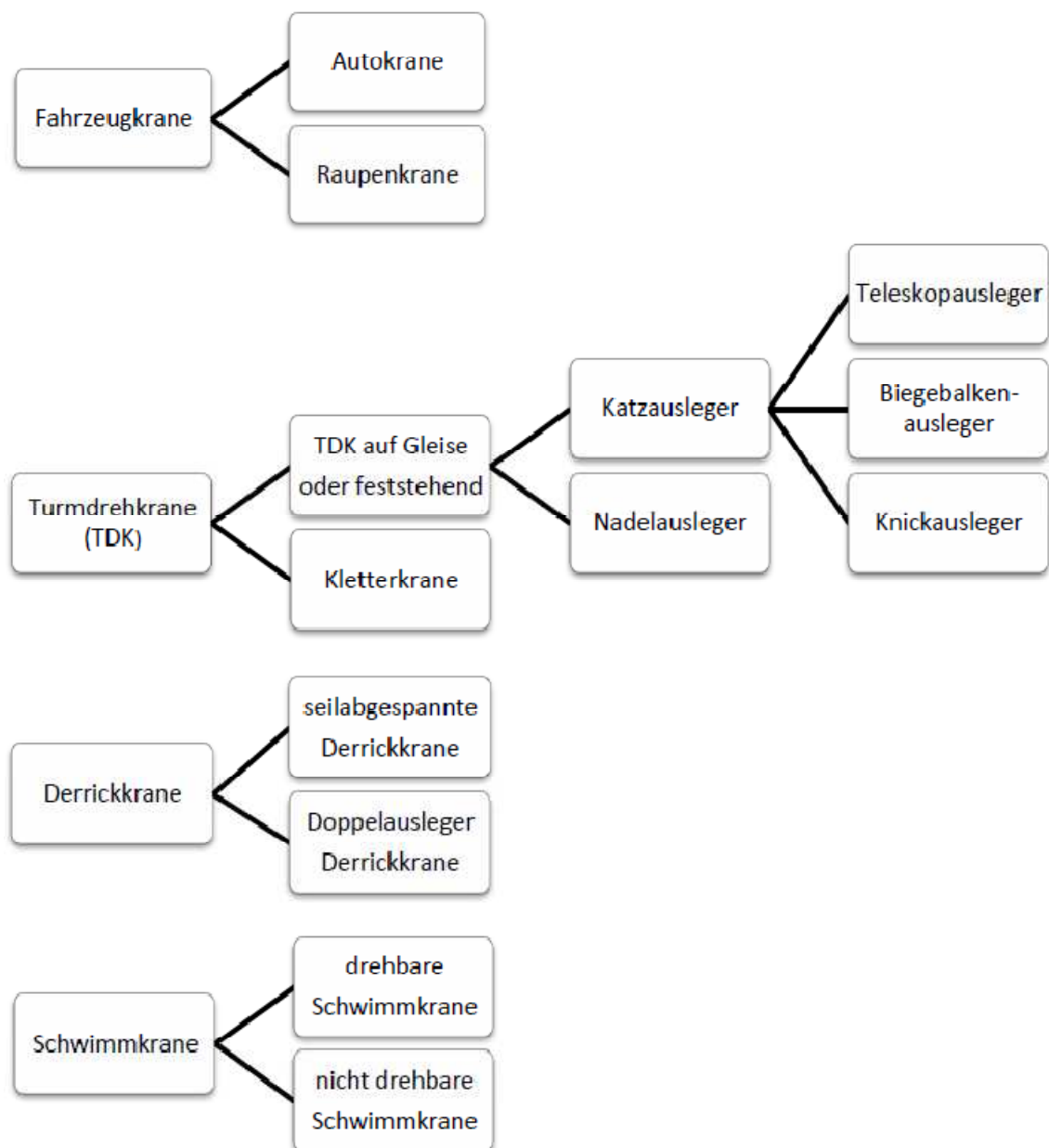


Abbildung 2: Übersicht Kranarten

Im Stahlbau und speziell im Hochbau werden heutzutage vornehmlich Fahrzeugkrane sowie Turmdrehkrane benutzt, weshalb spezifischer auf diese Typen eingegangen wird. Derrickkrane wurden aus dem Stahlbau verdrängt und finden nur noch Anwendung bei Spezialaufgaben, wie zum Beispiel bei speziellen Brückenbauten. Schwimmkrane sind Wasserfahrzeuge und finden ihren Einsatz unter anderem bei Hafenarbeiten oder bei dem Einheben einer Brücke über einer Wasserstraße.

2.3.1.1 Fahrzeugkrane

- **Autokrane**

Diese fahrbaren, selbstaufbauenden Krane werden sehr häufig bei der Montage angewendet, weil sie in der Handhabung sehr flexibel sind und ohne großen Aufwand auf- und abgebaut werden können. Der Kranoberwagen sitzt auf einem Fahrgestell was je nach Größe und Bauart des Kranes bis zu neun Achsen besitzen kann, wobei mehrere Lenkachsen ausgebildet sind um einen möglichst kleinen Kurvenradius zu erreichen. Der Ausleger kann aus einem Gittermast bestehen, aber auf Grund der heutzutage immer besser beherrscht- und einsetzbaren Sonderstählen ist die Variante eines Teleskopauslegers am weitesten verbreitet. Es ist eine schnelle Veränderung der Auslegerlänge, auch unter Last, möglich und es ist kein Auf- und Abbauen des Auslegers wie bei dem Gittermast erforderlich da der Transport mit komplett eingefahrenem Teleskopausleger möglich ist. Vorteil der mit Gittermastausleger ausgeführten Autokrane ist das geringere Auslegergewicht womit größere Ausladungen und Hubhöhen erreicht werden können. Es gibt auch Kombinationen, wo ein Gittermast als Hilfsausleger am Ende des Teleskopstabes aufgesetzt wird, womit sich Reichweite und Hubhöhe vergrößern. Im Allgemeinen werden Autokrane für kurze Einsätze mit Standortwechseln bevorzugt, zum Beispiel bei Bauwerken mit raschem horizontalem Baufortschritt wie es bei Hallen der Fall ist. Die immer weiter entwickelte Geländegängigkeit dieser Fahrzeuge, Steigungen bis 10 % können von manchen Modellen überwunden werden, erweitern das Spektrum der wirtschaftlichen Einsetzbarkeit.

Traglasten, ermittelt bei kleinster Ausladung, dass heißt kürzeste Auslegerlänge mit steilster Stellung, reichen von 5 t bei den kleinsten Fahrzeugen bis 1200 t bei dem bis jetzt weltweit größten Mobilkran LTM 11200–9.1 der Firma Liebherr, welcher eine maximale Teleskopauslegerlänge von 100 m besitzt die mit einer Gitterspitze auf 226 m erweitert werden kann. Dieser, mit bis 202 t Gegengewichten aufrüstbare Kran, kann zum Beispiel bei 70 m Ausladung und einer Auslegerlänge von 100 m noch 3 t heben und ist mit seinen 75 km/h Maximalgeschwindigkeit dennoch als mobil einzuschätzen, wobei der Ausleger separat mit einem Tieflader zum jeweiligen Einsatzort gebracht wird und somit jeweils vor Ort montiert bzw. demontiert werden muss.



Abbildung 3: Liebherr-Mobilkran LTM 11200-9.1

- **Raupenkrane**

Die drei Hauptbestandteile eines Raupenkrans sind das Raupenfahrwerk, der Kranoberwagen und der Ausleger. Das Raupenfahrwerk bringt den Vorteil der geringen Bodenpressung und ist dadurch auf ungünstigen Bodenverhältnissen besser anwendbar, zugleich bietet es dem Kran eine gute Geländegängigkeit. Die Abstützung des Kranes während den Hubarbeiten erfolgt über das Kettenlaufwerk, nicht wie bei dem Autokran der komplett ausgehoben auf ausfahrbaren Stützen steht. Dadurch wird ein Verfahren des Kranes mit angeschlagenem Bauteil möglich, wodurch große Ausladungen vermieden werden können und somit eine höhere Leistungsfähigkeit erzielt werden kann.

Es werden fast immer Gitterausleger genutzt, was mit der Tatsache, dass der Transport des Kranes mittels Tieflader erfolgt und der Ausleger montiert werden muss, logisch und sinnvoll ist, da man somit die leichtere, leistungsfähigere Variante wählt. Raupenkrane wurden speziell immer weiterentwickelt für das Heben schwerer Bauteile. Mit seinem hohen Standgewicht durch das Raupenfahrwerk und dem leichten Gittermastausleger sind dafür günstige Voraussetzungen vorhanden, die mit Zusatzgewichten noch verbessert werden können. Auslegerlängen von über 200 und Auslagen über 100 m sind keine Seltenheit und finden oft ihre Anwendung bei großen Baustellen von beispielsweise Industrieanlagen. Der aufwendige Transport und die Montage des Kranes auf der Baustelle lassen hohe Kosten entstehen, welche sich nur mit einer längeren Einsatzzeit rechtfertigen lassen. Bei dem Errichten von Industrie- oder Kraftwerksbauten oder bei dem Kompletteinheben von kleineren Brücken finden Raupenkrane zum Beispiel ihren Einsatzort.



Abbildung 4: Liebherr-Raupenkran LR 1300

2.3.1.2 Turmdrehkrane

- **Turmdrehkrane auf Gleise oder feststehend**

Bilder von jeder größeren Baustelle im Hochbau werden von dieser Art des Kranes geprägt. Ein vertikal stehender Gittermast bildet den sogenannten Kragturm, an dessen oberem Ende ein horizontal liegender Ausleger mit dazugehörigem Gegenausleger an dem sich die Gegengewichte befinden, angebracht ist. Er beruht auf dem Prinzip des Gleichgewichtszustandes von Ausladung und Gewicht des angehobenen Bauteils sowie der Masse des Gegengewichts und dessen Ausladung. Es kann ein stationärer Fußpunkt für den Kran ausgebildet werden oder die Möglichkeit der Fortbewegung innerhalb der Baustelle auf Schienen wahrgenommen werden. Dies kann zum Beispiel eine praktikable Anwendung bei einem Bauvorhaben mit achsweisen Baufortschritt sein. In der Ausbildung des Auslegers gibt es zwei wesentliche Varianten, die des Laufkatzen- und des Nadelauslegers, wobei bei der ersteren Variante noch zwischen den Typen des Teleskop-, Biegebalken und des Knickauslegers unterschieden werden kann.

- **Laufkatzenausleger**

Der Ausleger ist starr und senkrecht zum Hauptmast montiert und es fährt eine Krankatze am Ausleger entlang um einen horizontalen Materialtransport durchzuführen. Die Konstruktion des Auslegers ist in der Bauart des Gitterstabes ausgeführt. Neben dieser „klassischen Bauart“ hat die Weiterentwicklungen verschiedene Typen der Katzausleger hervorgebracht, um vor allem anpassungsfähiger an die Platzverhältnisse der Baustelle zu sein sowohl auch die Leistungsfähigkeit zu steigern.

- **Knickausleger**

Ein aus zwei Gitterstäben bestehender Ausleger, wobei der äußere nach oben schwenkbar ist. Durch das Knicken kann die Ausladung in Höhe umgesetzt werden was zum Beispiel beim Aufrichten von hohen Bauwerken ein Vorteil sein kann.

- Biegebalkenausleger

Besonderheit dieser Ausführung ist, dass der Kran keine Seilabspannungen der Ausleger und somit auch keine Turmspitze besitzt. Die Gesamthöhenerparnis des Kranes ist vorteilhaft wenn mehrere auf engem Raum aufgestellt werden müssen, da der überdrehende Kran dadurch tiefer liegen kann.

- Teleskopausleger

Mittels eines Teleskopstabes ist der Ausleger bis um die Hälfte verkürzbar was ein Ausweichen von Hindernissen im Schwenkbereich gut zulässt, da das Ein- und Ausfahren auch unter Last schnell und stufenlos möglich ist.

- Nadelausleger

Finden heute meist nur noch bei Kletterkranen Anwendung. Sie sind beweglich am Kranturm angebracht und können somit hochgezogen und wieder herabgelassen werden. Es können somit größere Hubhöhen erzielt werden sowie Arbeiten auf engem Raum sind gut durchführbar. Es ist keine Katze vorhanden sondern ein Seilzug am Ende des Auslegers, was sich nachteilig auswirken kann, da Aufgrund dieser Bauweise eine größere Mindestausladung bei diesem Typus Kran vorhanden ist, was bedeutet, das nahe am Turm lagernde Bauteile nicht erreicht werden können.

Unterschiedliche Bauweisen gibt es auch in der Umsetzung der Schwenkbewegung. Bei den sogenannten Untendrehern ist das Drehwerk am unteren Ende des Kranturms angebracht, bei einer Schwenkbewegung des Kranes dreht sich also der gesamte Turm mit. Dies wird bei den Obendrehern vermieden, indem das Drehwerk am oberen Ende des Kranturmes angebracht ist und somit nur die Ausleger geschwenkt werden. Mit den Turmdrehkranen können Hubhöhen über 100 m erreicht werden, dabei aber bei weitem nicht solch hohe Traglasten erzielt werden wie mit den Fahrzeugkranen.

Die Entwicklung geht natürlich dahin leistungsfähiger zu werden, in den Fokus ist aber ein einfaches, schnelles Aufstellen des Kranes auf der Baustelle gerückt. In diese Lücke stoßen die sogenannten „Flat-Top-Krane“. Dies sind spitzenlose Turmdrehkrane wo ein abspannen der Ausleger mit Seilen nicht notwendig ist, da diese in sich steif genug sind und mit Bolzen an den Kranturm befestigt werden.



Abbildung 5: TDK mit Katzausleger (links); TDK mit Nadelausleger (rechts)

- **Kletterkrane**

Diese spezielle Art eines Turmdrehkranes findet nur Anwendung bei großen Bauwerkshöhen. Dabei steht der TDK nicht am Boden sondern ist zum Beispiel an einem Stahlbetonkern eines Bauwerks befestigt. Entsprechend dem Baufortschritt klettert der Kran mit in die Höhe und kann so Arbeiten auf der entsprechenden Ebene ausführen. Vorteil dieser Ausführung ist die Ersparnis eines sehr hohen Hauptmastes, der eine sehr große Stabilität sowie einen Standort nahe dem Bauwerk erfordert. Andererseits muss das Bauwerk entsprechende Bauelemente besitzen, an welche ein solcher Kletterkran befestigt werden kann und die durch den Kran entstehenden Lasten abgetragen werden können.

2.3.2 Krafterzeuger und -verteiler

Zu dieser Kategorie zählen unter anderem Geräte, die zur Versorgung der Baustelle mit Strom und Druckluft eingesetzt werden. Das meist auf der Baustelle schon ausgebaute Stromnetz sichert den Stromanschluss, stromerzeugende Diesel- oder Benzinmotorenaggregate sind daher selten auf der Baustelle geworden. Baustromkästen dienen als Verteiler und besitzen Anschlüsse mit den verschiedenen starken Voltzahlen, von wo aus jedes Gewerke seinen nötigen Strom beziehen kann. Druckluft hingegen ist in den seltensten Fällen zentral auf der Baustelle vorhanden. Wenn nötig erzeugen Kompressoren die Druckluft, welche dann über geeignete Schläuche zu dem jeweiligen Arbeitsort geleitet wird.

Ein weiteres Feld bei den Krafterzeugern sind Pressen. Diese werden in den verschiedensten Situationen eingesetzt und haben ein hydraulisches Wirkprinzip. Aus dem Grundkörper wird bei Betätigung ein Stempel herausgedrückt, der somit die Bauteilhöhe der Presse erhöht. Dieser entstehende Höhenunterschied wird genutzt um zum Beispiel Bauwerke anzuheben oder Bauteile auseinander zu drücken. Pressen gibt es in sehr zahlreichen Varianten, maßgebend für den jeweiligen Einsatz ist dabei die maximale Hubhöhe und die Last, die gepresst werden kann.

2.3.3 Bearbeitungsgeräte

Alle Gerätschaften die notwendig sind um eine Konstruktion herzustellen und Bauteile zu bearbeiten zählen zu dieser Gruppe. Schweißmaschinen zum Fügen und Bohrmaschinen sowie Schlagschrauber und Drehmomentschlüssel zum Herstellen von Schraubverbindungen sind notwendige Geräte für den Zusammenbau. Winkelschleifer mit Schleif- und Trennscheiben, tragbare Brennschneidmaschinen sowie Bolzenschußgeräte sind mit die wichtigsten Vertreter der Bearbeitungsgeräte.

2.3.4 sonstige Montagegeräte

- **Transportfahrzeuge**

Fahrzeuge bzw. Gerätschaften die dazu dienen, um Materialien oder Personen von einem an den anderen Ort zu schaffen, zählen zu dieser Gruppe. Das Spektrum reicht von einem kleinen Transporter der Einzelteile anliefert bis zu Schwerlasttransportern. Bei einer Anlieferung von großen, vorgefertigten Stahlbauteilen können Tiefbettsattelaufleger oder Selbstlenker mit einer Nutzlast von bis zu 100 t zum Einsatz kommen. Dabei muss es nicht immer der Transport von der Werkstatt zur Baustelle sein. Fahrbare Transportplattformen können den Transport eines Bauteils von seinem Vormontageplatz zum Standort des montierenden Kranes übernehmen, damit dieser das Bauteil anschlagen kann.

- **Baustellenunterkünfte, Mess- und Kontrollgeräte**

Das gesamte Montagepersonal von Montageleiter bis Monteur muss auf der Baustelle untergebracht werden. Dafür notwendig sind Büro- und Umkleieräume, sanitäre Anlagen sowie Gerätelager. Die Umsetzung solches erfolgt oft in speziell dafür ausgerüsteten Containern auf der Baustelle. Auch Schlafunterkünfte für das Personal müssen berücksichtigt werden. Dies kann auch in Containern bei der Baustelle erfolgen, ansprechendere Unterkünfte wird es aber sicherlich in der näheren Umgebung geben.

Mess- und Kontrollgeräte dienen zur ständigen Bauüberwachung hinsichtlich der Einhaltung von vorgegeben Toleranzen oder helfen beispielsweise bei einer Standortbestimmung und Ausrichtung eines Bauteils. Typische Vertreter sind Nivelliergeräte, Theodoliten oder Tachymeter. Mit deren Hilfe misst Fachpersonal zum Beispiel Höhen, Abstände, Neigungen oder Standpunkte aus, was für einen korrekten Zusammenbau und der damit verbundenen Baudokumentation hilfreich und unverzichtbar ist.

- **Aufstellgerüste/Hilfskonstruktionen**

Alle Arten von Konstruktionen welche nur für die Montage benötigt werden und nach dieser wieder aus dem Bauwerk entfernt werden, da sie keinen statischen oder konstruktiven Aspekt für das Bauobjekt besitzen. Häufig werden Hilfskonstruktionen verwendet, um spezielle Bauzustände während der Montage zu stabilisieren. Unzulässige Verformungen oder gar die Zerstörung von Bauteilen wird somit verhindert. Auch zur Schaffung von Zugänglichkeiten sowie für Absperrzwecke finden sie Anwendung in Form von normalen Baugerüsten. Lastböcke, die zur Lagerung von Bauteilen oder Baugruppen bei der Vormontage genutzt werden, zählen auch zu der Kategorie der Aufstellgerüste.

- **Wasserfahrzeuge**

Wie der Name schon sagt, sind dies Geräte welche sich im Wasser fortbewegen können und Arbeiten aus dem Wasser heraus verrichten. Schwimmkräne oder –bagger sind solche Vertreter, aber auch Transportschiffe oder -pontons.

- **Pumpen**

Pumpen dienen dazu Flüssigkeiten zu befördern. Beispielsweise Bauarbeiten störendes Grundwasser muss häufig aus Baugruben abgepumpt werden oder an Gewässer liegende, eingedämmte Bereiche an denen gearbeitet werden soll müssen trockengelegt werden. Situationen die meist Gewerke die vor dem Beginn der Stahlbauarbeiten auf der Baustelle sind, somit die Stahlbaumontage weniger betreffen.

3 Darstellung von ausgewählten Montagevarianten am Beispiel der REA

3.1 Montagegegebenheiten

- **Montageabschnitt von +94m bis +113m**

Gegenstand dieser Bachelorarbeit ist der oberste Bauabschnitt der REA von +94,125m bis +113,225m. Es handelt sich dabei um ein quaderförmiges Fachwerkgerüst mit den Abmaßen von 22,7m Länge, 12m Breite und einer Höhe von 19,1m. An den Eckpunkten verlaufen 4 durchgehende Stützen. Hierbei ist zu erwähnen, dass der Stützenstoß 1m über den Anschluss der Diagonale liegt. In das Gerüst selbst sind auf den Ebenen +103,675m und +113,225m zwei Bühnenebenen über die gesamte Fläche eingebracht, deren Randprofile gleichzeitig die Riegel in dem Gerüst bilden. Zur Konstruktion und Aufteilung der Bühnenteile wird später spezifischer eingegangen. Die Diagonalen zur Lastabtragung und Aussteifung sind jeweils im Bereich von +94,125m bis +103,675m (unterer Bereich) sowie von +103,675m bis +113,225m (oberer Bereich) angebracht. Im unteren Bereich verlaufen sie sowohl in den Achsen D und G wie in den Reihen 5 und 10 aus der Mitte des jeweiligen oberen Riegels nach außen zum unteren Teil der Stütze. Diese Diagonalen schließen dabei nicht an den oben erwähnten mit zu montierenden Stützen an, sondern an der bereits bestehenden darunterliegenden Konstruktion. Im oberen Bereich verlaufen die Diagonalen der Achse D und G ebenfalls von der Mitte des obigen Riegels nach außen zu den Stützen auf der unteren Ebene. In den Reihen 5 und 10 ist der Verlauf entgegengesetzt, von der Mitte des unteren Riegels zu den außenliegenden Anschlüssen am oberen Stützenbereich.

Im Allgemeinen ist zu erwähnen, dass alle Anschlüsse von Diagonale/Riegel und Diagonale/Stütze mit Passschraubenverbindungen hergestellt werden müssen, was im Montageablauf ein zeitaufwendiges Aufreiben der Bohrungen um 3 -5 mm erfordert.

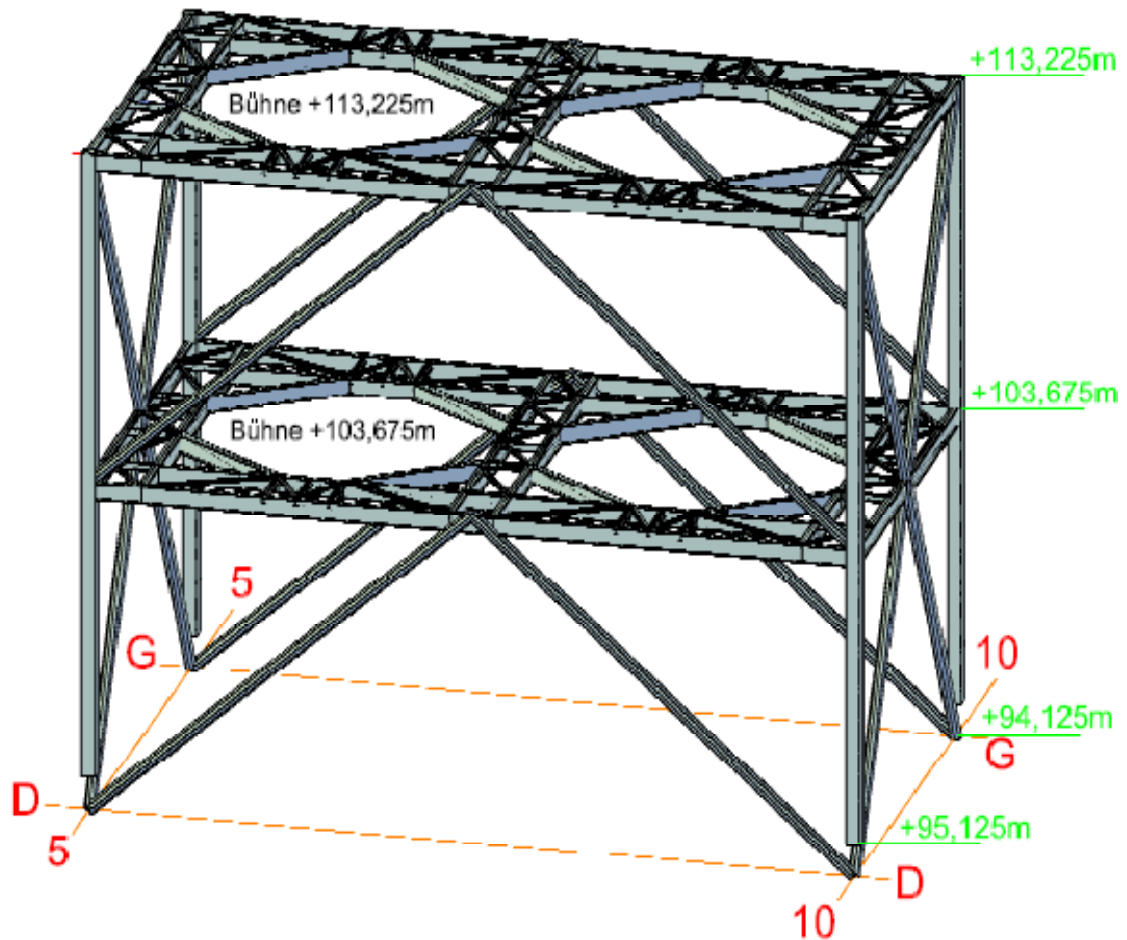


Abbildung 6: Übersicht Fachwerkgerüst mit Bühnen

Diese in der Abbildung 6 dargestellte Stahlkonstruktion mit den Hauptteilen Stützen, Riegel, Diagonalen und Bühnen soll montiert werden. Ab dem Punkt 3.3 wird das beschriebene Bauwerk mit den verschiedenen Montagevarianten des Punktes „Einteilung nach Grad der Vormontage“ theoretisch errichtet. Es wird sich nur auf diese Möglichkeiten bezogen, da dies im Beispiel der Montage der REA und im Stahlbau allgemein die aussagekräftigste Beurteilung ist. Es sollen dabei die generellen Arbeitsschritte mit dem dazu notwendigem Geräte- und Materialeinsatz dargestellt werden. Vor- und Nachteile der jeweiligen Variante sollen aufgezeigt und praktikable Lösungen gefunden werden.

Es wird zu Beginn der Variantenbeschreibung auf eine mögliche Montagereihenfolge eingegangen und folgend auf Stabilitäten der einzelnen Montagezustände sowie Zugänglichkeiten. Bei der Festlegung der Reihenfolge der Montage sollte beachtet werden, dass genügend Baufreiheit zum Einheben des Teils vorhanden ist. Ein falscher Montageablauf kann eventuell einen höheren Montageaufwand, statisch instabile Situationen oder die Kollision von Teilen untereinander zur Folge haben. Anschlusspunkte sollten vorhanden sein sowie die Stabilität der montierten Teile in sich selbst, um den Aufwand der Abstützung so gering wie möglich zu halten. Das heißt Hilfskonstruktionen, wie das Einbringen von zusätzlichen Stäben oder das Abhängen von Bauteilen sollten vermieden werden, was sicherlich nicht immer möglich ist.

Das Erreichen der Ebene +94,575m ist durch im Bauwerk integrierte Treppentürme möglich und gilt für die weiteren Abhandlungen im Bezug auf die Zugänglichkeiten als vorausgesetzt. Nachstehend werden die Hauptteile einzeln dargestellt um auf konstruktive Gegebenheiten einzugehen und spätere, sich daraus ergebende notwendige Montagetätigkeiten, ersichtlich zu machen.

- **Stützen**

Die 4 Eckstützen bestehen aus einem Quadratrohr 400x12,5 mm und sind 18340mm lang. Am unteren Ende ist ein Kopfplattenanschluß vorgesehen, am oberen ein Blech als Deckel und Bauwerksabschluß. Im mittleren und oberen Bereich befinden sich die Anschlüsse für die Riegel und Diagonalen in den entsprechenden Achsen. Ein Kopfplattenanschluß realisiert die Verbindung zwischen Stütze und Riegel, ein Laschenanschluß die zwischen Stütze und Diagonale. Die Gewichte der gesamten Baugruppe Stütze liegen zwischen 4186 kg und 4551 kg wobei die Unterschiede aus kleinen örtlich verschiedenen Konstruktionen oder zusätzlichen Anschlüssen stammen, im allgemeinen aber der Grundaufbau gleich ist.

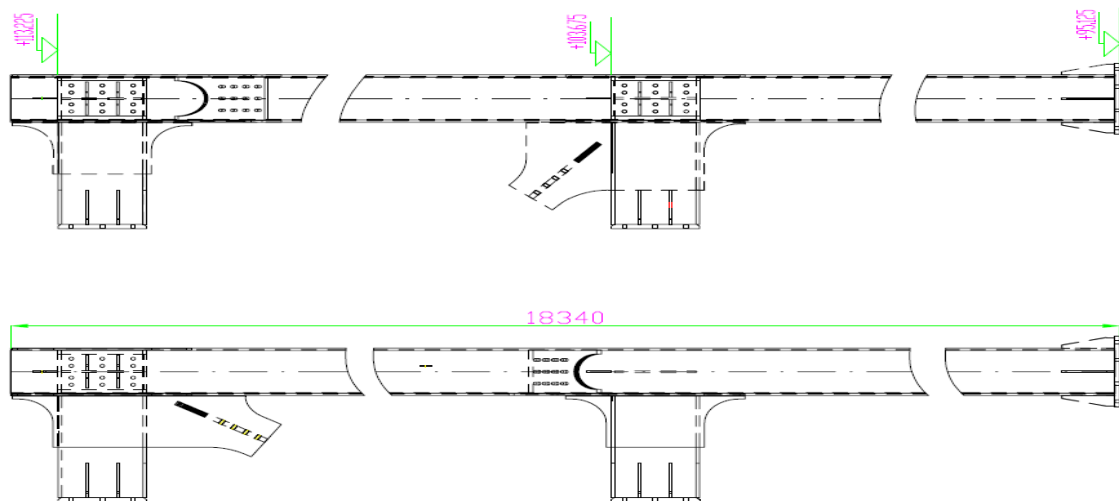


Abbildung 7: Baugruppe Stützen

- **Riegel**

Hauptbestandteile der Riegel bilden IPE 500 Profile mit einer Länge von 20500 mm in den Achsen D und G sowie 11000 mm in den Achsen 5 und 10. Genauer genommen bestehen diese aus 2 außenliegenden IPE 500 Profilen und einem in der Mitte angebrachten Blechträger welcher zugleich die Anschlüsse für die Diagonalen in Form eines Laschenstoßes realisiert. Einzigst die Riegel auf Achse 5 und 10 (kurze Seiten) auf Ebene +113,225m bestehen aus einem durchgehenden IPE 500 Profil weil keine Diagonalen anschließen. Bei allen Riegeln sind am Anfang und Ende Kopfplatten angeschweißt um an die Stütze anschließen zu können.

Auf den innenliegenden Seiten sind zahlreiche Anschlüsse für die sich auf dieser Ebene befindenden Bühnen zu sehen, welche sowohl in Form von Kopfplatten- als auch Laschenstößen ausgebildet sind. Gesamtgewicht der Baugruppe Riegel beträgt auf den Achsen D und G auf der Ebene 103,675m 3200 kg, sowie auf Ebene 113,225m 3323 kg. Die Konstruktion der Riegel auf Achse 5 und 10 wiegt 1746 kg auf Ebene +103,675m sowie 1531kg auf +113,225m.

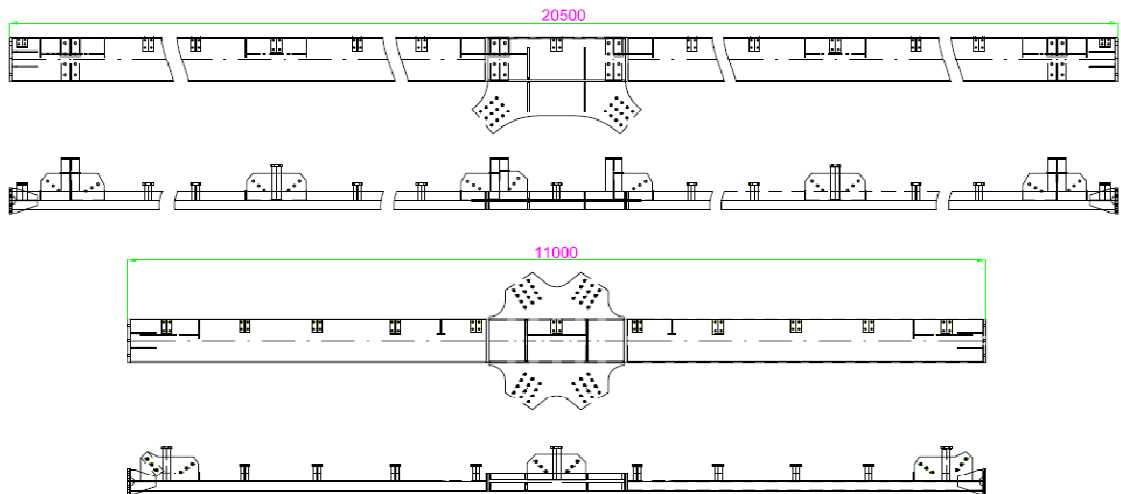


Abbildung 8: oben: Riegel Achse D und G; unten: Riegel Achse 5 und 10

• Diagonalen

Rundrohre mit den Abmaßen 323,9x20mm mit jeweils einer Blechlasche an den Enden bilden die Diagonalen, wobei hervorzuheben ist, dass die beiden Laschen zueinander um 90° gedreht sind. Das Gewicht beträgt bei den auf Achse D und G liegenden Diagonalen 2216 kg bei einer Länge von 11850 mm, 1727 kg bei 8588 mm Länge bei den auf Achse 5 und 10 liegenden Diagonalen.

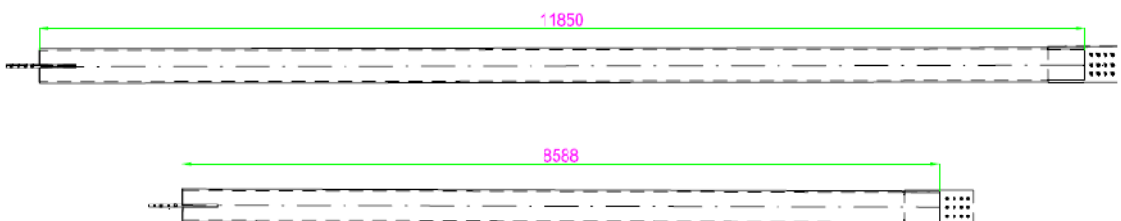


Abbildung 9: Baugruppe Diagonalen der Achsen D; G; 5; 10

- **Bühnen**

Wie unter 3.1.1. schon erwähnt müssen auf den Ebenen +103,675m und +113,225m Bühnen montiert werden, welche prinzipiell den gleichen Aufbau besitzen. 4 Hauptträger IPE 500 Profile, über die Seite der Achsen 5 und 10 (kurze Seite) verlaufend, werden mittels Kopfplattenstößen an die Riegel der Achse D und G angeschlossen und bilden die Hauptaufhängungspunkte. Senkrecht dazu verlaufen weitere 2 IPE 500 Profile womit diese 6 Profile das Grundgerüst der Bühne bilden. Diese besteht weiterhin aus 64 kleineren Profilen, meist IPE 160, welche ebenfalls mittels Kopfplattenstößen zwischen den Hauptträgern der Bühne und den Riegeln der entsprechenden Ebene angebracht sind. Hinzukommen in diesem Bereich 30 Diagonalen aus Doppelwinkeln die in Form von Laschenstößen montiert werden müssen. Diese Vielzahl von Anschlüssen ist montage-technisch sehr aufwendig. In der Mitte des linken und rechten Bereichs der Bühne befindet sich je eine achteckige Öffnung mit einem Durchmesser von 8700 mm welche den Durchgang für die Kaminrohre darstellt. 2 der 4 Hauptträger über die kurze Seite werden im mittleren Bereich in einer Art Fachwerk mit IPE 160 Profilen sowie Doppelwinkeln verbunden und ausgesteift. Der gesamte begehbare Bereich der Bühnen wird mit Gitterrosten ausgelegt womit diese Bühnen auf ein Gesamtgewicht von 18558 kg auf Ebene +103,675m und 20115 kg auf Ebene +113,225m kommen.

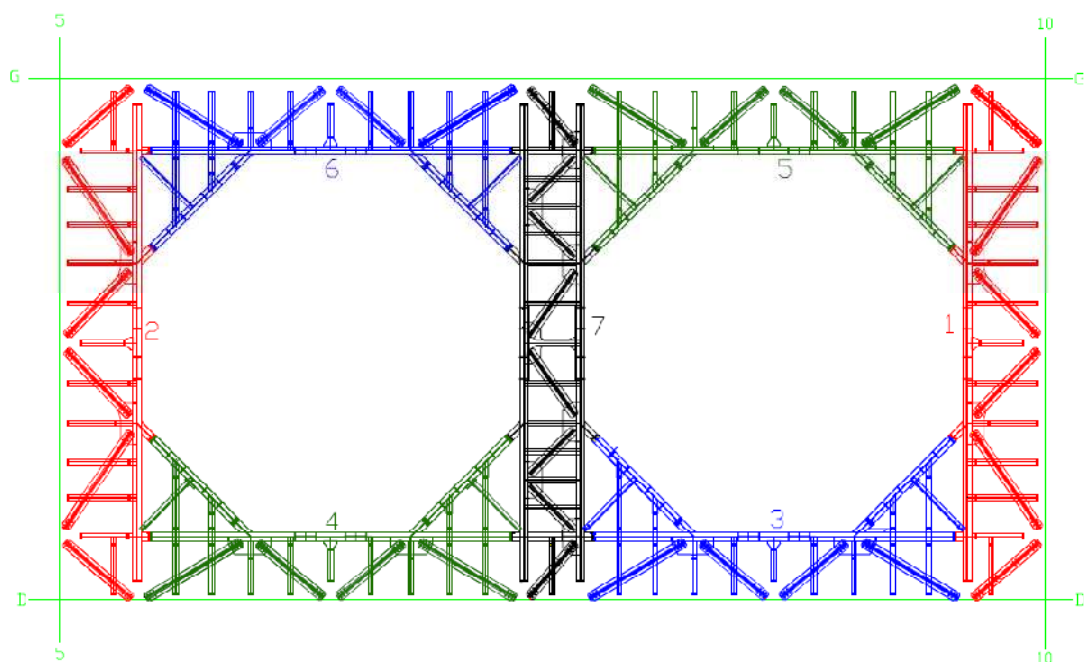


Abbildung 10: Baugruppe Bühne der Ebene +103,675m und +113,225m

- **Baustellensituation**

Einer der wichtigsten Faktoren in der Planung der Montage ist der zur Verfügung stehende Platz und dessen angrenzenden Verhältnissen. Es ist zu klären welche Gebiete für welchen Zweck nutzbar sind. Wo steht das zu Errichtende Bauwerk? Wo ist ein geeigneter Standort für das Hebezeug, auch im Hinblick auf die Beschaffenheit des Bodens und den benötigten Platz für dessen Aufbau? Wo können angelieferte Bauteile eventuell zwischengelagert werden? Steht eine Fläche für anfallende Vormontagen zur Verfügung? Alles Fragen die in ein Konzept mit einfließen müssen, um später nicht vor Platzproblemen zu stehen und Montagekonzepte zu ändern.

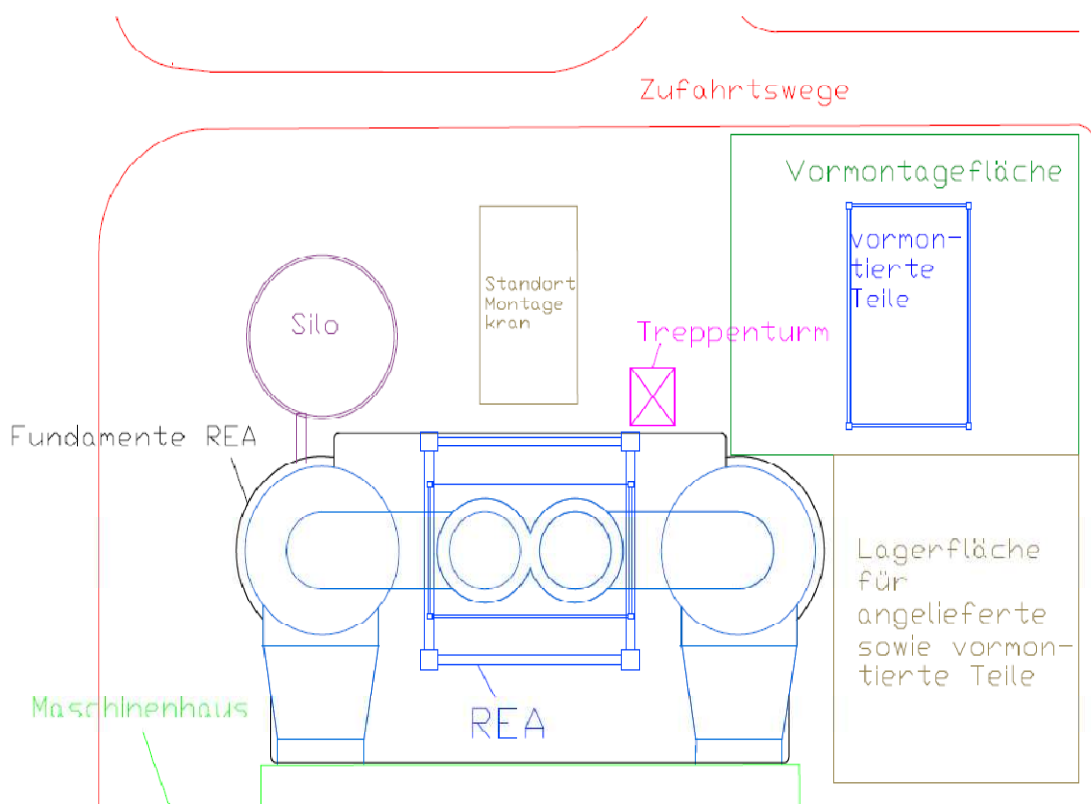


Abbildung 11: Grundriss der Baustelle

In unserem Fall herrschen recht komfortable Zustände. Der Platz rings um die REA ist mit Schotter befestigt und ein genügend großer Vormontageplatz von 40 m Länge und 33 m Breite für unser Bauwerk ist vorhanden. Dieser ist von 3 Seiten her frei zugänglich, was stets ein nahes Heranfahren der Vormontagegeräte zu dem Vormontierten sichert.

Die vierte Seite wird durch eine Fläche begrenzt, welche auch durch die Firma IMO Leipzig GmbH genutzt wird, speziell für Lagerung angelieferter Teile sowie für vormontierte Teile unterer Ebenen der

REA. Der Montagekran wird mittig vor der REA positioniert und hat mit dem freien umliegenden Gelände genügend Platz für seinen Auf- und Abbau. Allgemein ist zu sagen, dass die umliegenden Zufahrtswege nach Absprache mit den anderen Gewerken der Baustelle auch für kurze Zeiträume durch Vormontagevorgänge blockiert werden können, da immer mindestens eine Alternativzufahrt vorhanden ist. Auf dem befestigten Schotterplatz sind die Bodenverhältnisse so hergestellt, dass an jeder beliebigen Stelle ein sicheres Positionieren eines Hebezeugs vorgenommen werden kann.

3.2 Variante 1: „Einzelteilmontage“

Die unter Punkt 3.1 beschriebenen Einzelteile werden bei dieser Montagevariante (V 1) nacheinander an den schon bestehenden Teil der REA montiert. Es finden keine Vormontagearbeiten statt. Zu Beginn werden die 4 Stützen gestellt, welche nur über die Kopfplatten verschraubt mit der darunterliegenden Konstruktion nicht als selbststehend betrachtet werden können. Für die Stabilisierung in alle Richtungen können beispielsweise Hilfsdiagonalen eingebracht werden oder die Stützen mit Hilfe von speziell angefertigten Spannschlössern gegen ein Umkippen gesichert werden. Diese Hilfskonstruktionen sollten gleich so dimensioniert werden, dass sie auch Lastfälle, entstehend aus nachfolgenden Montageschritten, abtragen können. In der nachstehenden Abbildung ist eine mögliche Nutzungsweise und Anordnung solcher von der IMO Leipzig GmbH entwickelten und angewandten Spannschlösser dargestellt.

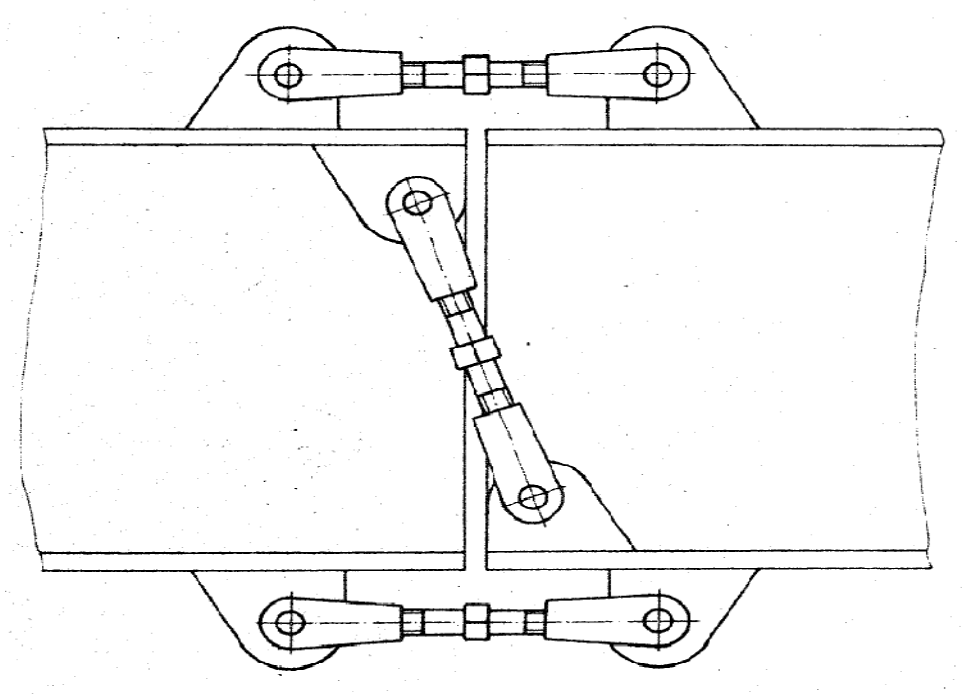


Abbildung 12: mögliche Anwendung von Spannschlössern

Als nächster Schritt wird der Riegel der Ebene +103,675m der Achse 5 eingebaut, danach die dazugehörigen unteren 2 Diagonalen. Nachfolgend die Montage der Riegel mit den 2 Diagonalen der Achsen G und 10, zum Abschluss der von Achse D.

Das Grundgerüst ist nun bis +103,675m vorhanden, es kann die Montage der Bühne dieser Ebene erfolgen, beginnend mit Teil 1 und 2, Teil 7 folgend und anschließend die Teile 3 bis 6. Es ist anzumerken das von jedem Teil jeweils erst der Hauptträger mit den Hauptanschlüssen zu den Riegeln montiert wird und danach die Querträger und Diagonalen zwischen Hauptträger und Riegel. Ist die Bühne +103,675m komplett montiert erfolgt die gleiche Prozedur und Reihenfolge mit der Montage der Riegel, Diagonalen und Bühne auf Ebene +113,225m.

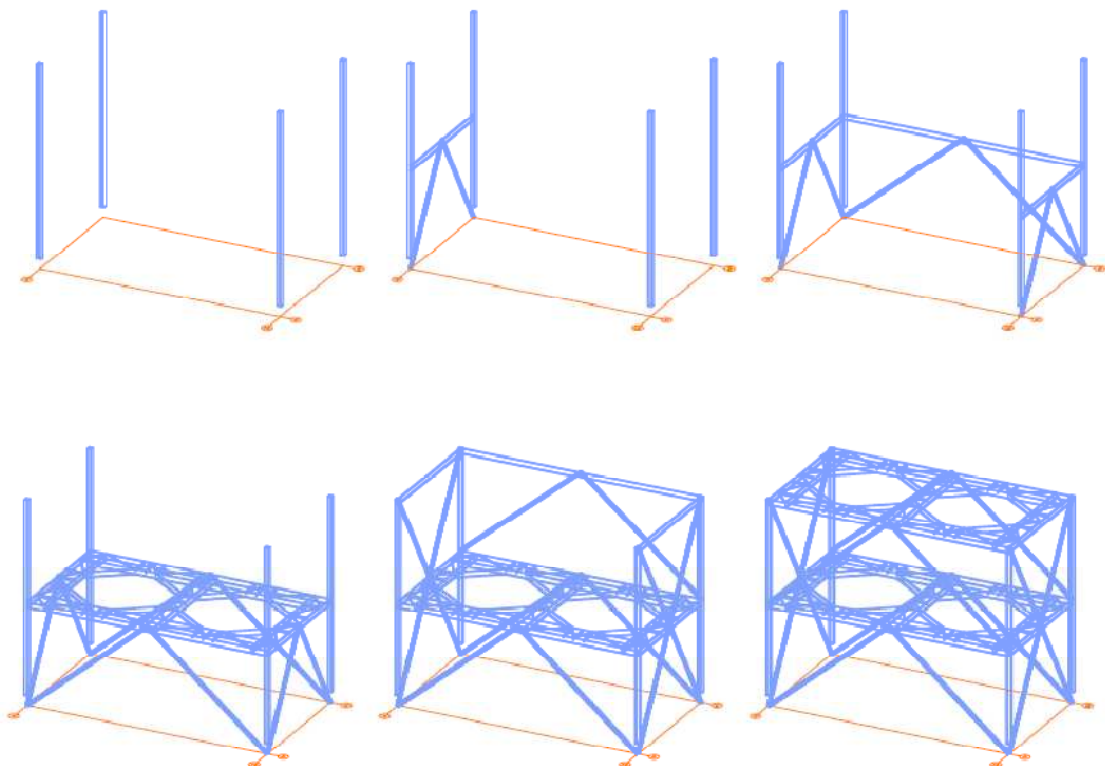


Abbildung 13: Ablauf „Einzelteilmontage“

Bei der Befestigung der Stützen werden vorübergehend Montagekeile zwischen den Kopfplatten eingebracht um ein leichtes nach außenstehen zu erreichen, damit sichergestellt wird, dass für die spätere Montage der Riegel genügend Platz zwischen den Stützen vorhanden ist. Der Zugang zu den Stützenstößen wird über die bereits vorhandene Bühne auf +94,125m ermöglicht. Zum Lösen der Anschlagmittel nach der Montage kann eine der zwei sich auf Ebene +94,125m befindlichen Anhänger-Arbeitsbühne MK25 (max. 25m Arbeitshöhe) verwendet werden.

Diese stehen jeweils auf einer 6m x 4,6 m großen Plattform welche wiederum auf 2 Trägern des Profils HEB 340 abgelegt sind. Statische Nachweise zu diesen Auflageträgern sind unter Anlage A. 5 einzusehen.

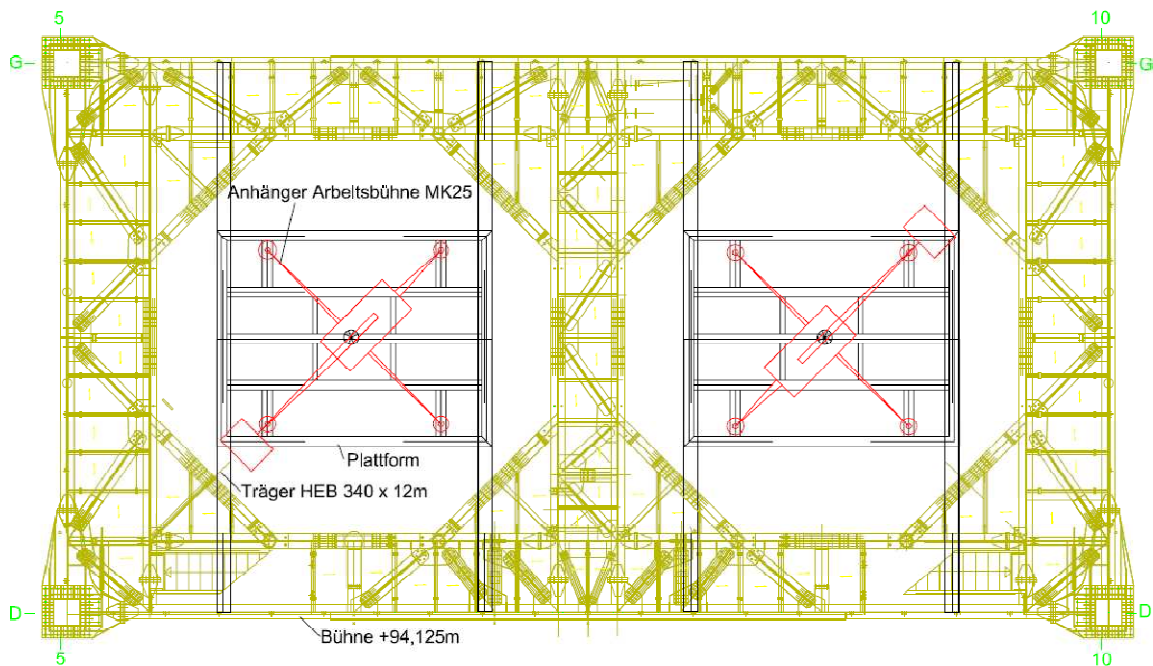


Abbildung 14: Standorte der Anhängersarbeitsbühnen MK 25 auf Bühne +94,125m

Auch bei den weiteren Montagearbeiten schaffen diese Arbeitsbühnen den Zugang zu den Montagestößen, wie zum Beispiel bei der als nächstes folgenden Montage der Riegel und Diagonalen bis auf +113,225m. Hierbei ist die Reihenfolge frei wählbar, da Stabilitätsprobleme ausgeschlossen sind. Hinsichtlich der Zugänglichkeit zu den Anschlüssen im Bereich über +113,225m stellt das Vorhandensein der Bühne auf +103,675m kein Problem dar. Die Anhängersarbeitsbühnen können ohne Behinderung durch die offen gebliebenen Teile der Bühne die höher gelegenen Montageorte erreichen. Zum Erreichen der unteren Anschlüsse der Diagonalen auf Ebene +103,675 ist zudem kein Lift mehr nötig, da jetzt die Bühne auf selbiger Höhe genutzt werden.

3.3 Variante 2: „Baugruppenmontage“

Bei der Zusammenstellung der Baugruppen gibt es verschieden mögliche Ansätze. Eine davon ist Scheiben aus 2 Stützen und den 2 Riegeln und dem oberen Diagonalen der Achse 5 vorzumontieren und mit einem Hub einzubauen. Bei dieser Vormontage würden die einzelnen Teile liegend, das heißt flach am Boden auf Unterlagsmaterial z. B. Schwellen gelagert, zusammengebaut. Gleiches wird mit den Bauteilen der Achse 10 gemacht. Die 2 Scheiben werden montiert und müssen entsprechend gegen Umkippen gesichert werden, was wieder mit den Spannschlössern realisiert werden kann. Im Anschluss werden erst die unteren Riegel, dann die unteren Diagonalen der Achsen D und G zwischen den Scheiben montiert. Sind auch die 4 Diagonalen der Achsen 5 und 10 eingebaut ist der erste Teil des Grundgerüsts fertig und es kann die am Boden komplett vormontierte Bühne +103,675m eingehoben werden. Es wäre genauso möglich die Achsen D und G als Scheiben vorzumontieren und die Teile der Achsen 5 und 10 im Nachhinein einzubauen. Anschließend wird die Aufstockung der Riegel und Diagonalen bis auf 113,225m vorgenommen bevor die Bühne dieser Ebene eingebaut wird.

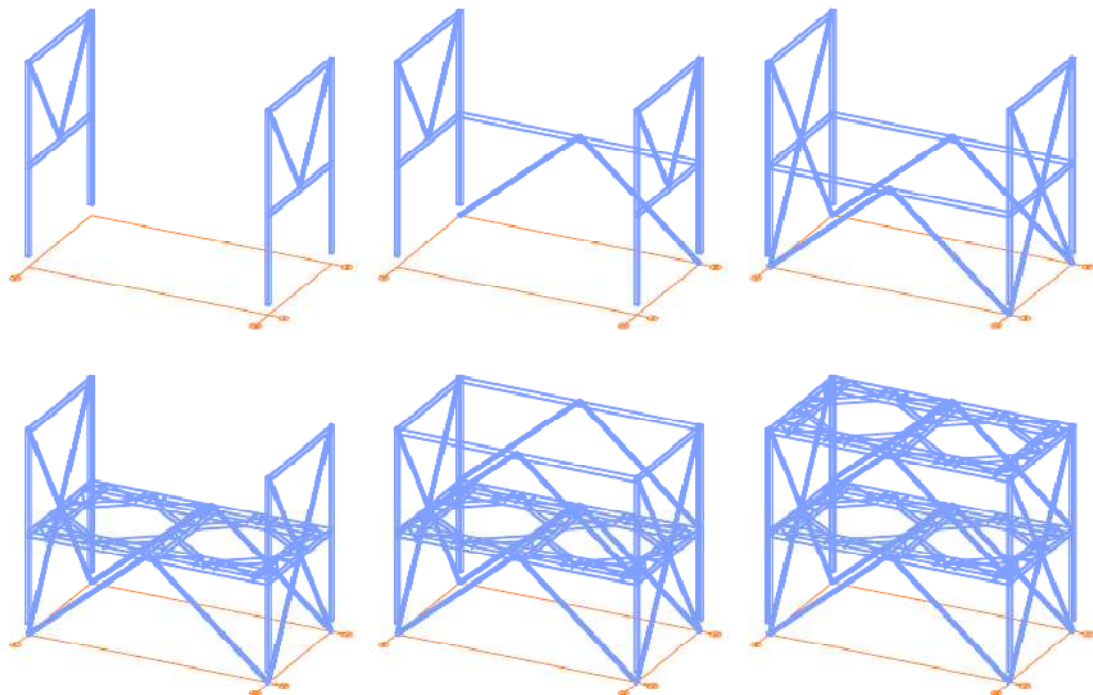


Abbildung 15: Ablauf „Baugruppenmontage“ (Möglichkeit 1)

Eine andere Möglichkeit wäre es, die 4 Riegel der Achsen 5 D und G sowie die Riegel der Achsen 5 und 10 auf Ebene +103,675m mit den jeweils 2 Diagonalen zu einem K-Verband vorzumontieren. An die oberen Riegel auf +113,225m der Achsen 5 und 10 schließen keine Diagonalen an. Dieser Anschluss befindet sich an den Stützen und somit müssen diese Diagonalen einzeln eingebaut werden. Zu Beginn werden die 4 Stützen gestellt und entsprechend gesichert. Es folgen die unteren vormontierten Baugruppen sowie die Einzelteile auf Achsen 5 und 10, anschließend Bühne +103,675m. Nächster Schritt ist die Aufstockung auf 113,225m wo ebenfalls erst wieder die vorgefertigten Riegel und Diagonalen montiert werden und zum Abschluss die Bühne. Das Umgehen der umständlichen Einzelteilmontage der Diagonalen, die Zugänglichkeit des Kranes zur Montage der Diagonale gestaltet sich schwierig, ist ein Vorteil dieser Variante. Jedoch müssen die in der Vormontage nur an der oberen Seite befestigten Diagonalen am unteren Ende abgehängt werden um ein Verbiegen des oberen Anschlusses während des Einhubvorganges zu vermeiden.

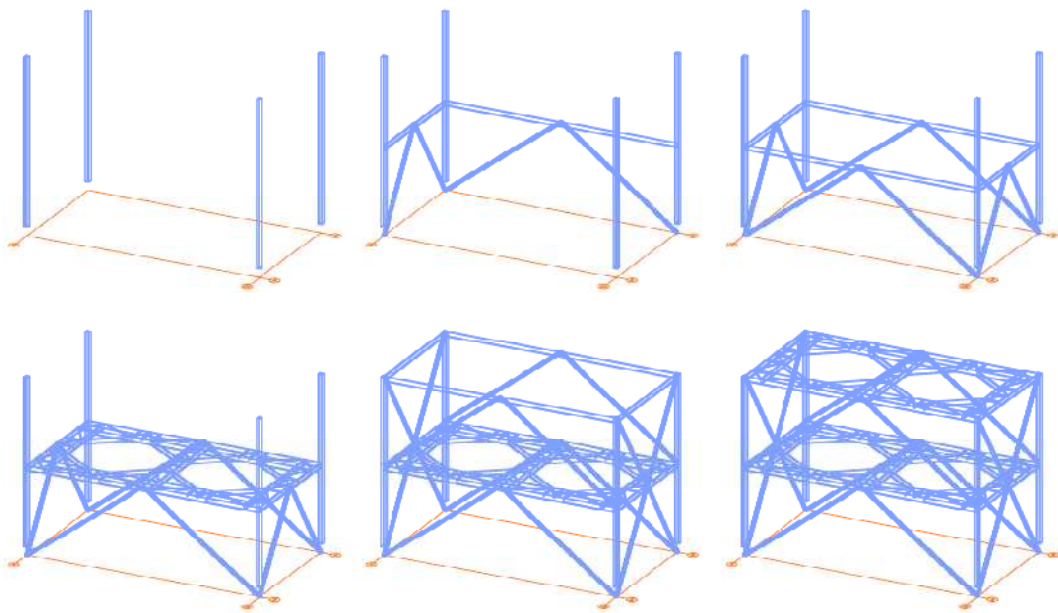


Abbildung 16: Ablauf „Baugruppenmontage“ (Möglichkeit 2)

Eine dritte Möglichkeit der Montage ist das komplette Vormontieren des Grundgerüsts mit Stützen, Riegeln und den oberen Diagonalen. Bei den unteren Diagonalen ist abzuwägen, ob es günstiger ist sie mit vorzumontieren und abzuhängen oder später einzeln zu montieren. Ist das Grundgerüst an seine Endposition angebracht werden wiederum die 2 vormontierten Bühnen auf entsprechender Höhe montiert.

Das Produkt der Vormontage des Grundgerüsts ist ein räumliches Gebilde, was bedeutet, dass nicht mehr nur in liegender, sondern auch in stehender Position vormontiert werden muss. Auch hierbei muss ein sicheres Stehen der aufgerichteten Teile oder Baugruppen gewährleistet werden. Dies ist zum Beispiel durch eine statisch nachgewiesene Unterkonstruktion möglich auf welche die Stütze gestellt und befestigt wird. Man könnte auch das aufgerichtete Bauteil so lange am Kran angeschlagen lassen bis mit Hilfe eines weiteren Kranes andere Bauteile hinzu montiert wurden, soweit bis genügend innere Stabilität gegeben ist.

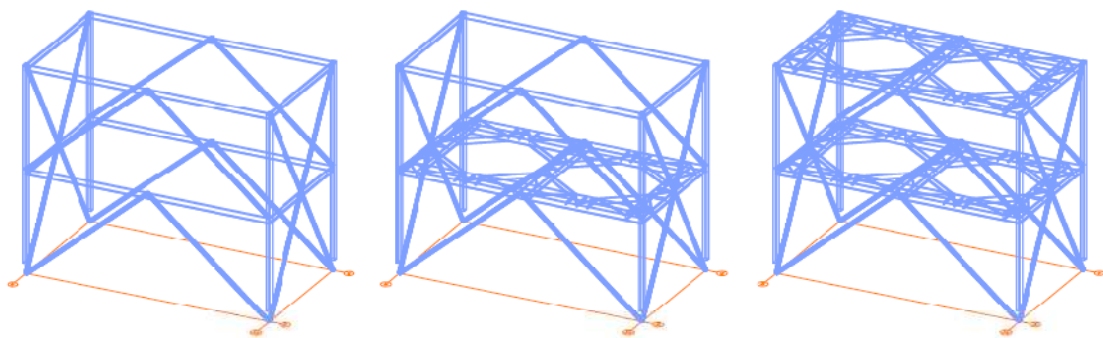


Abbildung 17: Ablauf „Baugruppenmontage“ (Möglichkeit 3)

Es sind nur die 3 Grundmöglichkeiten für die Bildung von Baugruppen genannt, es könnten noch mehr Variationen aufgezählt werden. Im Grundprinzip geht es darum, so viel wie möglich Montageaufwand auf den Boden zu verlegen. Einzelne Montageeinheiten müssen von ihrer Stabilität her anschlagfähig sein und auch im montierten Zustand gegenüber den auftretenden Lasten widerstandsfähig genug sein. In Hinblick auf das einzusetzende Hebezeug sollten die Vormontageeinheiten von Ihren Gewichten her nicht zu sehr schwanken um eine effektive Nutzung zu erzielen. Da die Montage ab einer Höhe von +94,125m beginnt ist sowieso ein größeres Hebezeug notwendig um auf diese Höhe zu gelangen. In der Regel handelt es sich hierbei um Gittermastkräne. Diese benötigen eine längere Auf- und Abbauzeit und sind so nur rentabel, wenn sie über einen längeren Zeitraum oder bei größeren Traglasten eingesetzt werden. Das bedeutet, mit Hilfe eines Kranes wird alles montiert. Somit ist es nicht sinnvoll eine große schwere Baugruppe und dann andere viel leichtere vorzumontieren. Der Kran wäre nur einmal voll ausgelastet und die restliche Zeit völlig überdimensioniert.

Um diesen Gesichtspunkt nicht unbeachtet zu lassen und ein einzelnes Montieren der Diagonalen weitestgehend zu vermeiden, wird in der folgenden Kalkulation der Baugruppenmontage die zu Beginn vorgestellte Variante (Möglichkeit 1) verwendet. Abweichend ist nur, dass bei der Montage der Riegel immer die 2 dazugehörigen Diagonalen in der Vormontage mit an die Riegel angebracht werden. Es wird somit ein K-Verband vormontiert wobei die Diagonalen beim Einheben mit entsprechenden Mitteln abgehängt werden müssen, weil sie nur an einer Seite befestigt sind. Bei der Montage der Bühnen ist zu erwähnen, dass die 64 Träger der Anschlüsse zwischen Riegel und Hauptträger der Bühne nachträglich einzeln montiert werden. Dies ist notwendig um bei dem Einheben der Bühne den Einbau zu erleichtern. Es wäre nicht ohne Verkannten oder Anstoßen möglich 72 Anschlüsse in einem Hub zu montieren, so ist diese Zahl reduziert auf 8 Anschlüsse.

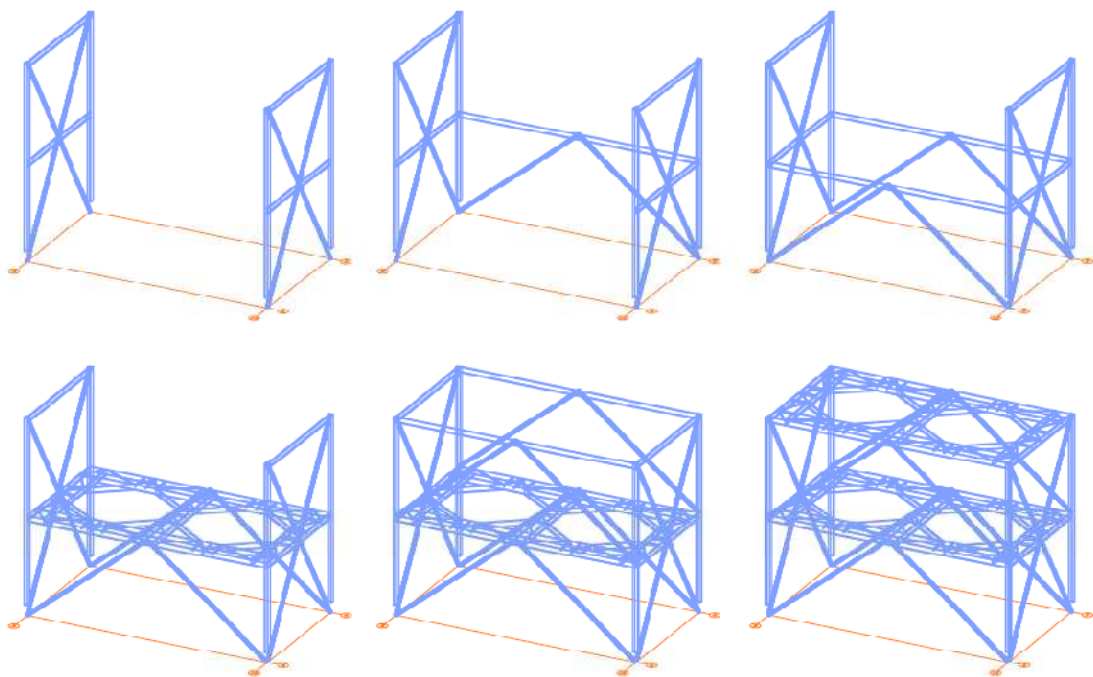


Abbildung 18: Ablauf „Baugruppenmontage“ (Möglichkeit 4)

Das Erreichen der Vormontageorte in Bodennähe stellt keine großen Anforderungen, da diese per Fuß oder zum Beispiel beim Aufrichten der Stützen mittels Hebebühnen erreicht werden können. Tätigkeiten der Montage können wie auch unter Punkt 3.4 von der Bühne +94,575m ausgeführt werden oder es wird eine der Anhänger Teleskoparbeitsbühne verwendet, welche ebenfalls auf der Bühne +94,575m positioniert sind.

3.4 Variante 3: „komplette Vormontage“

Wie die Überschrift schon umschreibt, werden bei dieser Variante (V 3) alle Teile am Vormontageplatz zu einer Baugruppe zusammengebaut. Es ist dabei wieder die Reihenfolge der vorzumontierenden Teile festzulegen. Bei der Herangehensweise müssen die Gedanken aus Punkt 3.3 und 3.4 aufgegriffen werden, da der prinzipielle Ablauf der Gleiche ist, nur das fast die komplette Montage am Boden stattfindet und nicht in einer Höhe von über 100m. Die Probleme der Standfestigkeit sind wieder zu berücksichtigen und somit ist ein geeigneter Unterbau wieder Voraussetzung, nicht nur um Halt zu geben sondern auch auf der Baustelle vorkommende Bodenunebenheiten auszugleichen. Die Platzverhältnisse spielen in dieser Planung eine entscheidende Rolle. Von wie vielen Seiten kann an den Vormontageort herangefahren werden, also wie viele kleinere Kräne können eingesetzt werden? Findet die Vormontage mit einem Kran statt, stellt man die Stütze und muss sie mit geeigneten Mitteln abstützen bevor man sie vom Kran abschlägt um das nächste Teil zu montieren. Ist die Möglichkeit einer Mehrkranmontage gegeben, kann man die Stützen oder auch vormontierte Scheiben solange am Kran hängen lassen, bis mit Hilfe anderer Hebezeuge genügend Teile angebaut wurden um einen sicheren Stand zu gewährleisten. Letzteres ist bei unserem Montagevorhaben der Fall und soll dementsprechend genutzt werden. Zudem wird in der Auswahl des folgenden Vormontageablaufs berücksichtigt, möglichst viele Arbeiten in Bodennähe stattfinden zu lassen.

Es soll mit der Vormontage der 2 Scheiben von Achse 5 und 10 begonnen werden, welche in liegender Position und auf geeigneten Auflagern stattfindet. Zudem werden die 2 Bühnen vormontiert, ebenso wie die beiden oberen Riegel der Achsen D und G mit den 2 dazugehörigen Diagonalen. Sind die in Bodennähe stattfindenden Arbeiten abgeschlossen kann es zum Aufrichten dieser Baugruppen kommen. Zu Beginn werden die beiden Scheiben mit je einem Kran an die vorher ausgemessenen Standpunkte gestellt und justiert, bleiben aber weiterhin angeschlagen. Mit einem dritten Kran wird die untere Diagonale der Achse G eingebaut, folgend die Baugruppe der Diagonale auf +113,225m von Achse G.

Ist der Verbund zwischen diesen Baugruppen hergestellt ist dem System genügend Stabilität und Standsicherheit gegeben, alle drei Hebezeuge können abgeschlagen werden. Im nächsten Schritt wird der untere Riegel der Achse D montiert, anschließend die Bühne +103,675m mit all ihren dazugehörigen Teilen. Es folgt die Baugruppe des oberen Riegels von Achse D und die Bühne +113,225m. Zum Abschluss werden die 8 unteren Diagonalen einzeln an den Riegeln auf Ebene +103,675m angebracht und z. B. mit Kettenzügen abgehangen. Da der Anschlusspunkt dieser Diagonalen tiefer liegt als der Stützenstoß ist, ist schon beim Stellen der Scheiben darauf zu achten, dass die Stützenstöße hoch genug gelagert sind, damit später genügend Platz für die Vormontage der Diagonalen ist. Außer diesen Diagonalen wird die Konstruktion zum Abschluss komplett verschraubt und kann anschließend montiert werden.

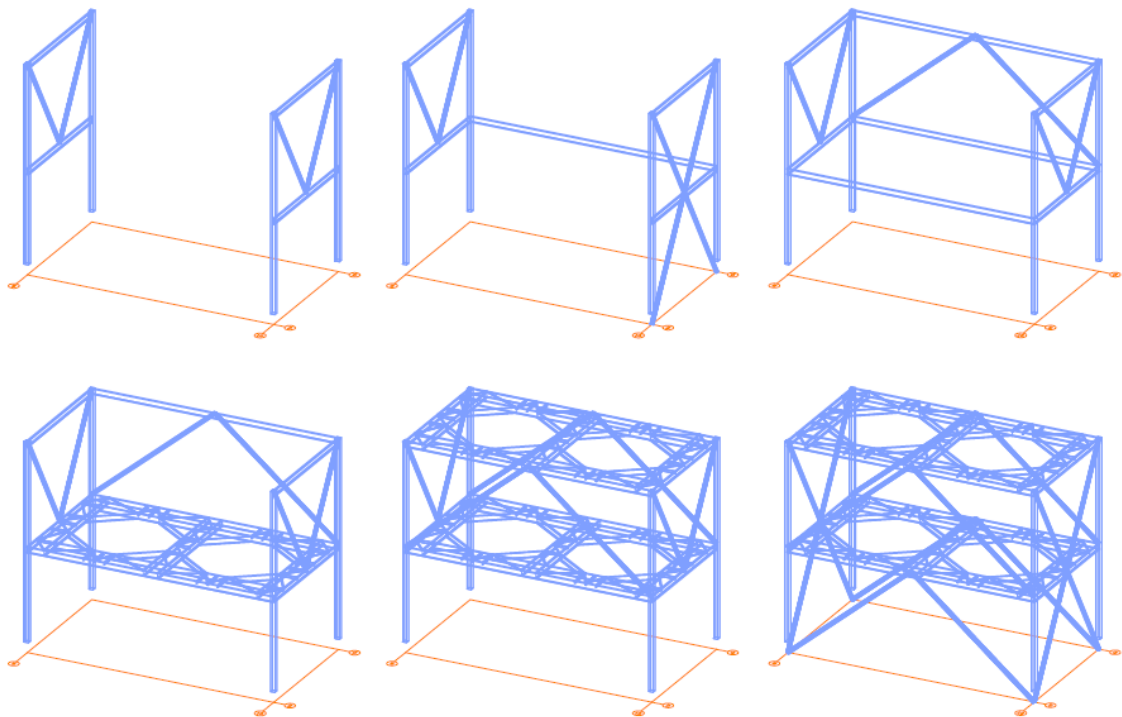


Abbildung 19: Ablauf „komplette Vormontage“

3.5 Zeitablaufpläne/Kostenübersichten

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Arbeitsschritte der jeweiligen Montagevariante im Bezug auf die Dauer, die nötigen Arbeitskräfte sowie benötigte Gerätschaften dargestellt und über pauschale Stundensätze abgerechnet. Ziel ist es einen Überblick auf die Gesamtkosten der Montage zu geben, um in den weiteren Planungen den sehr entscheidenden Faktor der Wirtschaftlichkeit einbeziehen zu können. Als Grundlage für die zu erwartenden Kosten werden die von der IMO Leipzig GmbH mit dem Auftraggeber BabcockNoell GmbH vereinbarten Regiestundensätze genommen. Nachfolgend ist ein Ausschnitt für die Kosten der zum Einsatz kommenden Arbeitskräfte und Geräte dargestellt.

Arbeitskraft/Gerätschaft	Kosten in €/h
Bauleiter	54,00
Monteur	36,00
Schweißer	38,00
Kran 60t	73,00
Kran 100t	105,00
Scherenbühne 23m	13,50
Anhänger Arbeitsbühne 25m	16,50
Teleskopstapler (ohne Fahrer)	6,15
Kompressor	2,50

Abbildung 20: Übersicht Stundensätze für Arbeitskräfte und Gerätschaften

Alle zur Montage benötigten Kleingeräte wie zum Beispiel die der Gruppe der Bearbeitungsgeräte sind in den Stundensätzen der Monteure und Schweißer bereits eingerechnet und werden deshalb nicht extra aufgeführt. Die Kosten für Großhebezeuge, welche zur Montage notwendig sind, werden aus den Angeboten der jeweiligen Kranfirmen übernommen. Für die technische Vorbereitung der Montage und den Vermessungsleistungen während der Bauzeit wird jeweils ein pauschaler Preis berechnet.

Zur Schaffung eines Überblickes über den Zeitraum der einzelnen Schritte der Montage wird für jede Variante ein möglicher Zeitablauf mit Hilfe des Programmes „Microsoft Project 2000“ dargestellt. Daraus wird ersichtlich wie lange zum

Beispiel die Phase der Vormontage dauert und für welchen Zeitraum somit ein Vormontagekran zur Verfügung stehen muss. Bei diesen Zeitablaufplänen steht die optimale Ausnutzung des Hubgerätes im Vordergrund. Die Zahl der nötigen Arbeitskräfte bei einem Parallellauf von verschiedenen Montagetätigkeiten bleibt unberücksichtigt. Es wird vorausgesetzt, dass genügend Arbeiter zu Stoßzeiten von der Firma aufgebracht werden können, wie es beispielsweise bei der Montage sowie dem Verschrauben der Bühne und dem anschließenden Verlegen der Gitterroste auf den Bühnen notwendig ist.

Zur Bestimmung der erforderlichen Zeit um die nötigen Schraubverbindungen herzustellen werden folgende Annahmen zur Grundlage genommen, welche auf einer Zeitmessung vor Ort basieren.

Arbeitsschritt	Arbeitsort	Zeit [min]
Verschrauben	am Boden	3
Verschrauben	auf Konstruktion	4
Aufreiben + Verschrauben	am Boden	10
Aufreiben + Verschrauben	auf Konstruktion	15

Abbildung 21: Zeitliste für das Verschrauben der Konstruktion

Die jeweilige Zeit ist ein Durchschnittswert und wird benötigt um eine Schraube anzubringen. Der Zeitraum für einen Arbeitsschritt ergibt sich aus der Multiplikation der jeweiligen Zeit mit der Anzahl der Schrauben der jeweiligen Verbindung. Zum Beispiel bei dem Verschrauben eines Diagonalanschlusses auf der Konstruktion müssen 16 Löcher aufgerieben und anschließend 16 Schrauben verschraubt werden. Für eine Schraube sind 15 Minuten angesetzt, multipliziert mit der Anzahl 16 ergibt sich ein Zeitraum von 240 Minuten bzw. 4 Stunden um diesen Stoß komplett zu verschrauben und seine Tragfähigkeit herzustellen.

Bei der Berechnung der Gesamtstundenzahl wird aus Erfahrung für Tätigkeiten die auf der Konstruktion stattfinden ein Zuschlag von 25 % eingerechnet. Dieser spiegelt den zeitlichen Mehraufwand durch das umständlichere Arbeiten in der Höhe wieder. In diesem Zuschlag sind Zeiten für ein Auf- und Absteigen in die entsprechende Höhe der Konstruktion, für längere Transportwege und für das ständige Sichern der Arbeiter enthalten.

3.5.1 „Einzelteilmontage“

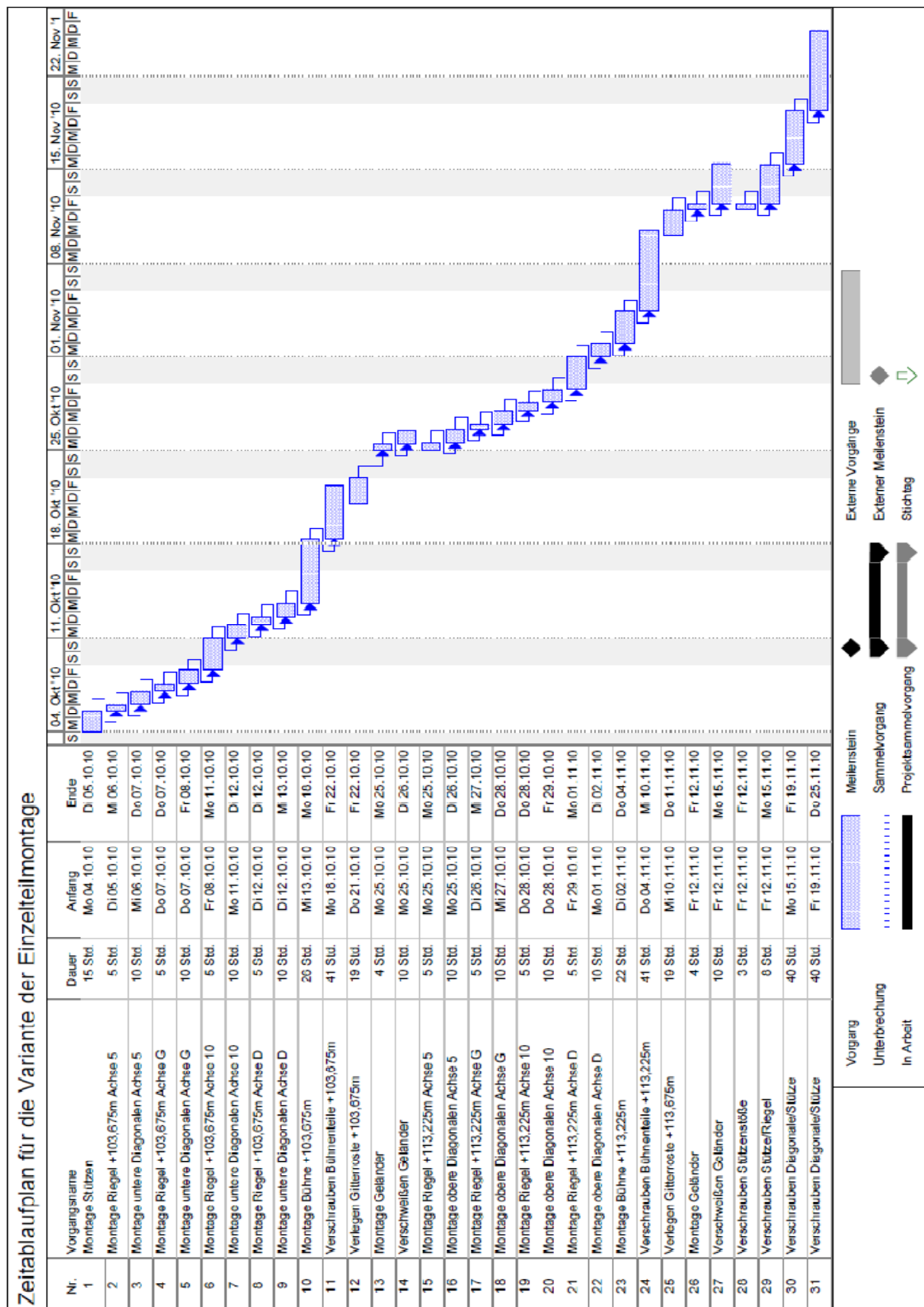


Abbildung 22: Zeitablaufplan „Einzelteilmontage“

Einzelteilmontage					
Arbeitsschritt	Anzahl	Zeit [h]	Art AK	Anzahl AK	Bemerkung
Montage Stütze	4	3	Monteur	3	Aufrichten/Montage/Sicherung
Montage Riegel +103,675m	4	4	Monteur	3	
Montage Diagonalen	8	4	Monteur	3	
Montage Bühnenteile +103m	7	6	Monteur	3	erst Hauptträger, danach Anbauteile einzeln
Verschrauben Bühnenteile	1	65	Monteur	2	976 Schrauben
Verlegen Gitterroste +103m	1	30	Monteur	2	
Montage Geländer	1	3	Monteur	2	
Verschweißen Geländer	1	10	Schweißer	1	
Montage Riegel +113 m	4	4	Monteur	3	
Montage Diagonalen	8	4	Monteur	3	
Montage Bühnenteile +113m	7	6	Monteur	3	erst Hauptträger, danach Anbauteile einzeln
Verschrauben Bühnenteile	1	65	Monteur	2	976 Schrauben
Verlegen Gitterroste +113m	1	30	Monteur	2	
Montage Geländer	1	3	Monteur	2	
Verschweißen Geländer	1	10	Schweißer	1	
Verschrauben Stützenstöße	4	1	Monteur	2	12 x M24 pro Anschluss
Verschrauben Stütze/Riegel	16	1	Monteur	2	12 x M24 pro Anschluss
Verschrauben Diagonale/Stütze	16	4	Monteur	2	16 x Aufreiben und Verschrauben pro Stoß
Verschrauben Diagonale/Riegel	16	4	Monteur	2	16 x Aufreiben und Verschrauben pro Stoß
Gesamtarbeitsstunden Montage					
		1580	Monteur		inkl. 25% Höhenzuschlag und Arbeiteranzahl
		25	Schweißer		inkl. 25% Höhenzuschlag und Arbeiteranzahl

Abbildung 23: Ermittlung Arbeitsstunden „Einzelteilmontage“

Kostenauflistung Einzelteilmontage				
Kostengegenstand	Anzahl	Zeit [h]	Preis/h [€] bzw. Pauschalpreis	Kosten [€]
Monteur	1	1580	36,0	56.880,0
Schweißer	1	25	38,0	950,0
Bauleiter	1	400	41,0	16.400,0
Montagekran CC1500	1	300	185,0	55.500,0
Auf- und Abbau Montagekran	1		18.500,0	18.500,0
Arbeitsbühne (25m)	2	400	16,5	13.200,0
Kompressor	1	400	2,5	1.000,0
Teleskopstapler	1	400	6,2	2.460,0
Vermessungsleistungen	1		2.000,0	2.000,0
technische Vorbereitung	1		5.000,0	5.000,0
			Gesamtpreis	171.890,0

Abbildung 24: Übersicht der Kosten für die „Einzelteilmontage“

Der Gesamtpreis dieser Montagevariante würde sich auf 171.890,- € belaufen und mit der Annahme einer Arbeitszeit von 50 Stunden pro Woche und Arbeitskraft einen Montagezeitraum von 8 Wochen benötigen.

Zur Auswahl des Montagekranes stand ein Kran des Typs CC1500 sowie ein LTM 1500. Mit beiden Hebezeugen ist es möglich das schwerste Teil, die Stützen mit 4,55 t, auf eine Höhe von +113m zu heben wobei eine maximale Ausladung von 42 m nötig ist. Ausschlaggebend für die Verwendung des CC 1500 mit einem Hauptausleger von 72 m sowie einem Nebenausleger von 66 m war das günstigere Angebot. Die nötigen technischen Daten des CC1500 sind unter der Anlage A. 1 einzusehen.

Der Kompressor und Teleskopstapler werden wie auch bei den anderen Montagevarianten über den kompletten Zeitraum der Errichtung des Bauwerks eingesetzt. Diese Geräte sind für verschiedene Tätigkeiten notwendig und werden deshalb pauschal angemietet. Verwendungszwecke für den Kompressor liegen z.B. bei Verschraub-, Ausfug- oder Reinigungsarbeiten. Der Teleskopstapler, auch nach der Firma „Merlow“ benannt, wird für anfallende kleine Transport- und Lageraufgaben genutzt und kann so z.B. den Vor- und Montagekränen zuarbeiten.

3.5.2 „Baugruppenmontage“

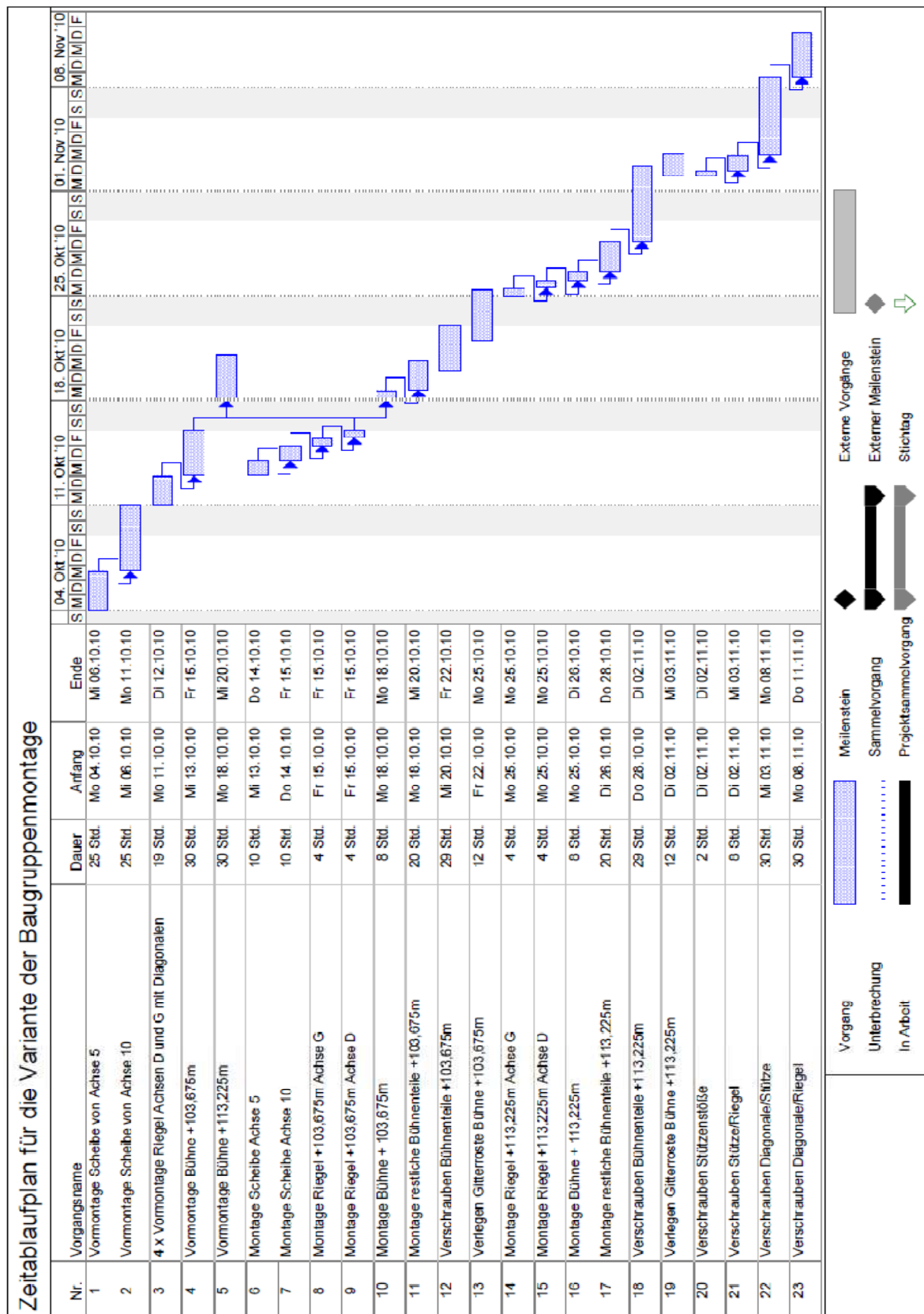


Abbildung 25: Zeitablaufplan für die Baugruppenmontage

Baugruppenmontage												
Arbeitsschritt						Anzahl	Zeit [h]	Art AK	Anzahl AK	Bemerkung		
Vormontage Scheiben Achse 5 und 10						2						
Auflageböcke stellen/VMplatz einrichten						1	0,25	Monteur	2			
Stütze auflegen						2	0,5	Monteur	2			
Riegel auflegen						2	1	Monteur	2			
obere Diagonalen einbauen						2	1,5	Monteur	2			
untere Diagonalen anbauen + abhängen						2	1,5	Monteur	2			
Geländer anbauen						1	1	Monteur	2			
Geländer verschweißen						1	2	Schweißer	1			
Verschrauben Riegel/Stütze						8	0,75	Monteur	2	12 x M24 pro Stoß		
Verschrauben Diagonale/Stütze						4	3	Monteur	2	16 x Aufreihen und Verschrauben pro Stoß		
Verschrauben Diagonale/Riegel						4	3	Monteur	2	16 x Aufreihen und Verschrauben pro Stoß		
Gesamtarbeitsstunden												
							80,5	Monteur				
							2	Schweißer				
Vormontage Riegel + 2 Diagonalen						4						
Auflageböcke stellen/VMplatz einrichten						1	0,25	Monteur	2			
Auflegen Riegel						1	0,5	Monteur	2			
Diagonalen anbauen + abhängen						2	1,5	Monteur	2			
Geländer anbauen						1	1	Monteur	2			
Geländer verschweißen						1	4	Schweißer	1			
Gesamtarbeitsstunden												
							9,5	Monteur				
							4	Schweißer				

Abbildung 26: Ermittlung Arbeitsstunden „Baugruppenmontage“ Teil 1 von 2

Arbeitsschritt	Anzahl	Zeit [h]	Art AK	Anzahl AK	Bemerkung
Vormontage Bühne					
Auflageböcke stellen/VMplatz einrichten	1	0,25	Monteur	2	
Auslegen/Verbinden Hauptträger	7	1	Monteur	2	
Bühnendiagonalen (Doppelwinkel)	18	0,25	Monteur	2	
diagonale Träger	8	0,5	Monteur	2	
Verschrauben	1	14,4	Monteur	2	288 Schrauben
Auslegen mögliches Gitterrost	1	6	Monteur	2	
Gesamtarbeitsstunden		72,3	Monteur		
Gesamtarbeitsstunden Vormontage		271,3	Monteur		
		20	Schweißer		
Montage					
Scheiben Achse 5 + 10	2	8	Monteur	4	Aufrichten/Montage/Sicherung
Riegel +103,675m	2	4	Monteur	4	
Bühne +103,675m	1	8	Monteur	4	
restliche Bühnenteile (Querträger)	64	0,5	Monteur	3	
Verschrauben Bühnenteile	1	46	Monteur	2	688 Schrauben
Verlegen restliches Gitterrost	1	24	Monteur	2	
Riegel +113,225m	2	4	Monteur	4	
Bühne +113,225m	1	8	Monteur	4	
restliche Bühnenteile (Querträger)	64	0,5	Monteur	3	
Verschrauben Bühnenteile	1	46	Monteur	2	688 Schrauben
Verlegen restliches Gitterrost	1	24	Monteur	2	
Verschrauben Stützenstöße	4	1	Monteur	2	12 x M24 pro Anschluss
Verschrauben Stütze/Riegel	8	0,8	Monteur	2	12 x M24 pro Anschluss
Verschrauben Diagonale/Stütze	12	4	Monteur	2	16 x Aufreihen und Verschrauben pro Stoß
Verschrauben Diagonale/Riegel	12	4	Monteur	2	16 x Aufreihen und Verschrauben pro Stoß
Gesamtarbeitsstunden Montage		1096	Monteur		inkl. 25% Höhenzuschlag und Arbeiteranzahl

Abbildung 27: Ermittlung Arbeitsstunden „Baugruppenmontage“ Teil 2 von 2

Kostenauflistung Baugruppenmontage				
Kostengegenstand	Anzahl	Zeit [h]	Preis/h [€] bzw. Pauschalpreis	Kosten [€]
Monteur	1	1367,3	36,0	49.222,8
Schweißer	1	20	38,0	760,0
Bauleiter	1	300	41,0	12.300,0
Vormontagekran (60t)	1	150	73,0	10.950,0
Montagekran LR1400	1	200	230,0	46.000,0
Auf- und Abbau Montagekran	1		25.500,0	25.500,0
Arbeitsbühne (25m)	2	250	16,5	8.250,0
Kompressor	1	300	2,5	750,0
Teleskopstapler	1	300	6,2	1.845,0
Vermessungsleistungen	1		2.000,0	2.000,0
technische Vorbereitung	1		5.000,0	5.000,0
			Gesamtpreis	162.578

Abbildung 28: Übersicht der Kosten für die „Baugruppenmontage“

Der Gesamtpreis dieser Montagevariante würde sich auf 162.578,- € belaufen und mit der Annahme einer Arbeitszeit von 50 Stunden pro Woche und Arbeitskraft einen Montagezeitraum von 6 Wochen benötigen.

Zur Auswahl des Montagekranes stand ein Kran des Typs LR 1400 sowie einer des Typs LG 1550. Mit beiden Hebezeugen ist es möglich das schwerste Teil, die Scheibe der Achse 5 mit 19,52 t, auf eine Höhe von +113m zu heben wobei eine maximale Ausladung von 30 m nötig ist. Es wird der preisgünstigere LR 1400 mit einem Hauptausleger von 63 m in Kombination mit einem 77 m langen Nebenausleger verwendet. In Anlage A. 2 sind die nötigen Krandaten des Hebezeuges einsehbar.

3.5.3 „komplette Vormontage“

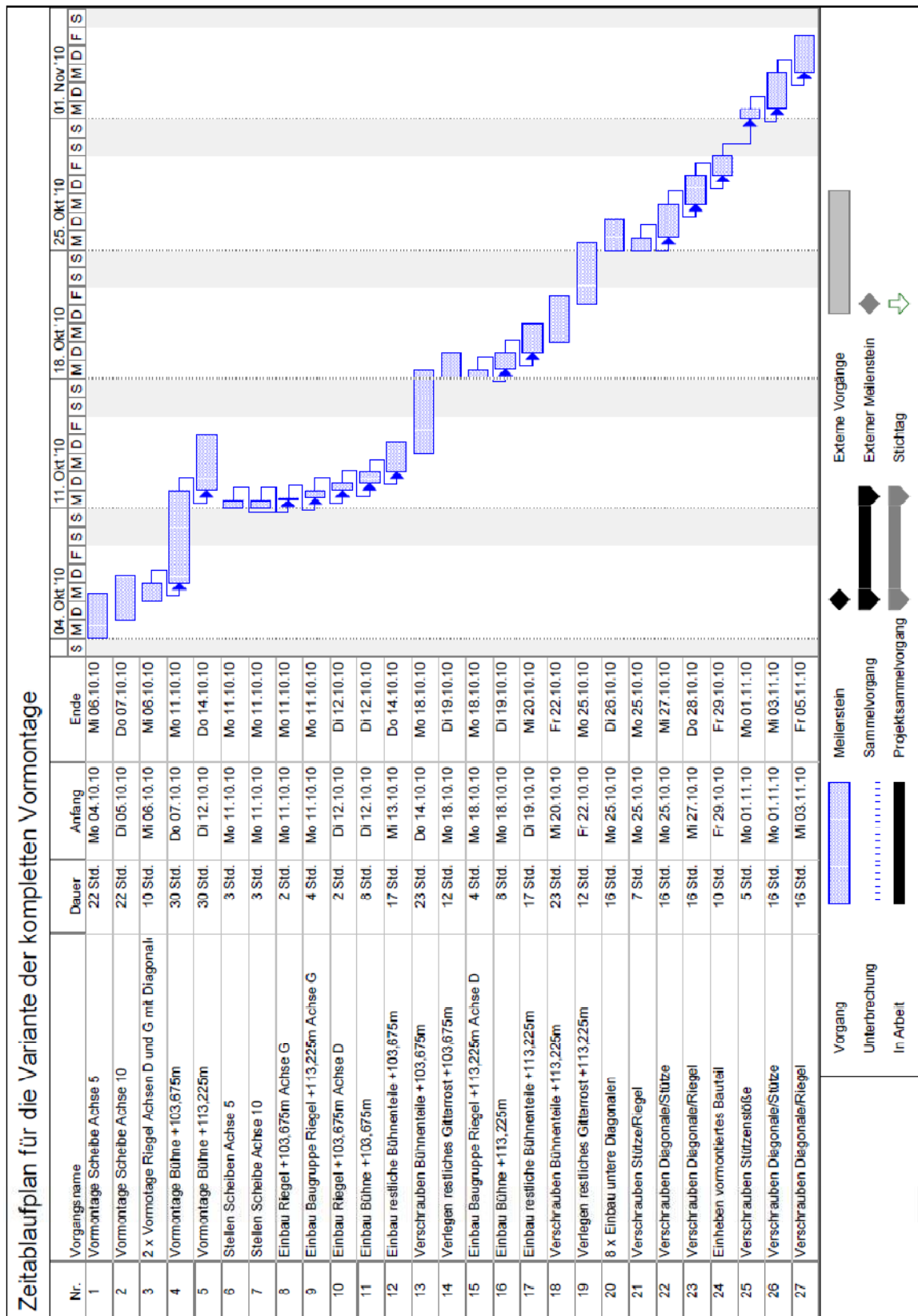


Abbildung 29: Zeitablaufplan „komplette Vormontage“

komplette Vormontage					
Arbeitsschritt	Anzahl	Zeit [h]	Art AK	Anzahl AK	Bemerkung
Vormontage Scheiben Achse 5 und 10	2				
Auflageböcke stellen/VMplatz einrichten	1	0,25	Monteur	2	
Stütze auflegen	2	0,5	Monteur	2	
Riegel auflegen	2	1	Monteur	2	
obere Diagonalen einbauen	2	1,5	Monteur	2	
Geländer anbauen	1	1	Monteur	2	
Geländer verschweißen	1	2	Schweißer	1	
Verschrauben Riegel/Stütze	8	0,75	Monteur	2	12 x M24 pro Stoß
Verschrauben Diagonale/Stütze	4	3	Monteur	2	16 x Aufreihen und Verschrauben pro Stoß
Verschrauben Diagonale/Riegel	4	3	Monteur	2	16 x Aufreihen und Verschrauben pro Stoß
Gesamtarbeitsstunden		74,5	Monteur		
		2	Schweißer		
Vormontage Bühne	2				
Auflageböcke stellen/VMplatz einrichten	1	0,25	Monteur	2	
Auslegen/Verbinden Hauptträger	7	1	Monteur	2	
Bühnendiagonalen (Doppelwinkel)	18	0,25	Monteur	2	
diagonale Träger	8	0,5	Monteur	2	
Verschrauben	1	14,4	Monteur	2	288 Schrauben
Auslegen mögliches Gitterrost	1	6	Monteur	2	
Gesamtarbeitsstunden		72,3	Monteur		

Abbildung 30: Ermittlung Arbeitsstunden „komplette Vormontage“ Teil 1 von 3

Arbeitsschritt	Anzahl	Zeit [h]	Art AK	Anzahl AK	Bemerkung
Vormontage Riegel + 2 Diagonalen	2				
Auflageböcke stellen/VMplatz einrichten	1	0,25	Monteur	2	
Auflagen Riegel	1	0,5	Monteur	2	
Diagonalen anbauen + abhängen	2	1,5	Monteur	2	
Geländer anbauen	1	1	Monteur	2	
Geländer verschweißen	1	4	Schweißer	1	
Gesamtarbeitsstunden		9,5	Monteur		
		4	Schweißer		
Zusammenbau	1				
Stellen Scheiben	2	3	Monteur	4	1. und 2. Kran (100t) (1 Kran pro Scheibe)
Einbau Riegel Achse G (+103m)	1	2	Monteur	4	3. Kran (60t)
Einbau Baugruppe Riegel Achse G (+113m)	1	4	Monteur	4	3. Kran
Einbau Riegel Achse D (+103m)	1	2	Monteur	4	ab jetzt nur noch 1 Vormontagekran (60t)
Einbau Bühne +103,675m	1	8	Monteur	4	
Einbau restliche Bühnenteile	64	0,5	Monteur	2	
Verschrauben Bühnenteile	1	46	Monteur	2	688 Schrauben
Verlegen restliches Gitterrost	1	24	Monteur	2	
restliches Geländer anbauen	1	1	Monteur	2	
restliches Geländer verschweißen	1	4	Schweißer	1	
Einbau Baugruppe Riegel Achse D	1	4	Monteur	4	
Einbau Bühne +113,225m	1	8	Monteur	4	
Einbau restliche Bühnenteile	64	0,4	Monteur	2	

Abbildung 31: Ermittlung Arbeitsstunden „komplette Vormontage“ Teil 2 von 3

Arbeitsschritt	Anzahl	Zeit [h]	Art AK	Anzahl AK	Bemerkung
Verschrauben Bühnenteile	1	46	Monteur	2	688 Schrauben
Verlegen restliches Gitterrost	1	24	Monteur	2	
restliches Geländer anbauen	1	1	Monteur	2	
restliches Geländer verschweißen	1	4	Schweißer	1	
Einbau untere Diagonale	8	2	Monteur	2	
Verschrauben Stütze/Riegel	8	0,8	Monteur	2	12 x M24 pro Anschluss
Verschrauben Diagonale/Stütze	4	4	Monteur	2	16 x Aufreiben und Verschrauben pro Stoß
Verschrauben Diagonale/Riegel	4	4	Monteur	2	16 x Aufreiben und Verschrauben pro Stoß
Gesamt Arbeitsstunden		644	Monteur		
		8	Schweißer		
Gesamtarbeitsstunden Vormontage		956,6	Monteur		
		20	Schweißer		
Montage					
Einheben vormontiertes Bauteil	1	10	Monteur	8	
Verschrauben Stützenstöße	4	1	Monteur	2	
Verschrauben Diagonale/Stütze	8	4	Monteur	2	16 x Aufreiben und Verschrauben pro Stoß
Verschrauben Diagonale/Riegel	8	4	Monteur	2	16 x Aufreiben und Verschrauben pro Stoß
Gesamtarbeitsstunden Montage		270	Monteur		inkl. 25% Höhenzuschlag und Arbeiteranzahl

Abbildung 32: Ermittlung Arbeitsstunden „komplette Vormontage“ Teil 3 von 3

Kostenauflistung komplette Vormontage				
Kostengegenstand	Anzahl	Zeit [h]	Preis/h [€] bzw. Pauschalpreis	Kosten [€]
Monteur	1	1294,1	36,0	46.587,5
Schweißer	1	20	38,0	760,0
Bauleiter	1	250	41,0	10.250,0
Vormontagekran (60t)	1	170	73,0	12.410,0
Vormontagekran (100t)	2	10	105,0	2.100,0
Montagekran LRD 1800	1	10	600,0	6.000,0
Auf- und Abbau Montagekran	1		58.000,0	58.000,0
Arbeitsbühne (23m)	2	200	13,5	5.400,0
Arbeitsbühne (25m)	2	10	16,5	330,0
Kompressor	1	250	2,5	625,0
Teleskopstapler	1	250	6,2	1.537,5
Vermessungsleistungen	1		2.000,0	2.000,0
technische Vorbereitung	1		5.000,0	5.000,0
			Gesamtpreis	151.000

Abbildung 33: Übersicht der Kosten für die „komplette Vormontage“

Der Gesamtpreis dieser Montagevariante würde sich auf 151.000,- € belaufen und mit der Annahme einer Arbeitszeit von 50 Stunden pro Woche und Arbeitskraft einen Montagezeitraum von 5 Wochen benötigen.

Als Hebezeug wird ein LR 1800 verwendet, da er der kleinste Kran ist welcher das vormontierte Bauteil an seinen Montageort heben kann. Das Bauteil mit dem Gewicht von 140 t muss mit einer Ausladung von 24 m auf eine Höhe von + 94 m gehoben werden. Technische Daten zu dem Hebezeug mit einem Hauptausleger von 91 m und einem Nebenausleger von 42 m sind unter Anlage A. 3 einzusehen.

4 Betrachtungen zum Variantenvergleich

4.1 Zielstellung der Vergleichsuntersuchung

Die Montagemethoden von den Varianten 1 bis 3 sollen miteinander verglichen werden, wobei folgende Kriterien Berücksichtigung finden sollen:

- Montagedauer
- Anzahl Arbeitskräfte
- Hebezeug
- Hilfskonstruktionen
- Zugänglichkeiten
- Arbeitssicherheit
- benötigte Montageflächen
- Flexibilität
- Umsetzung von kurzfristigen Zeichnungsänderungen/Anpassungen
- Montagekosten

Es soll ein Ergebnis im Bezug auf die Montage des Teilabschnittes der REA in Moorbург geliefert werden. Aber auch allgemeingültige Aussagen zur Stahlbaumontage bei anderen Projekten sollen getroffen werden, um eine grundlegende Herangehensweise auch bei anderen Bauvorhaben zu liefern.

4.2 Bewertungssystem / Polyoptimierung

• Bewertungssystem

Die 3 Varianten werden unter den einzelnen Bewertungspunkten miteinander verglichen. Es wird eine Rangfolge im Bezug auf jedes Kriterium festgelegt, welche wie folgt mit Punkten bewertet wird:

- 3 Punkte = 1. Platz
- 2 Punkte = 2. Platz
- 1 Punkt = 3. Platz

Hinzu kommt eine Wichtung der einzelnen Betrachtungspunkte. Welchen Stellenwert sie jeweils besitzt und dessen Begründung wird unter Punkt 4.3 dargestellt. Die Bildung der Gesamtergebnisse erfolgt in Form einer Polyoptimierung.

• Polyoptimierung

Dies ist ein Verfahren bei welchen interdisziplinäre Kriterien mit unterschiedlichen Wertmaßstäben zu einer aussagekräftigen Gesamtbewertung zusammengebracht werden. Eine Anwendung die in vielen technisch / ökonomischen Bereichen der Wirtschaft genutzt wird. Alle Bewertungskriterien a, b, c, ... die Berücksichtigung in der Lösung finden sollen, werden herausgesucht und mit einem Wichtungsfaktor $x_1, x_2, x_3, \dots x_i$ belegt. Diese sollen den Stellenwert des Bewertungspunktes widerspiegeln und sind bei jeder Problemfindung nach Interessen der ausführenden Firma festzulegen. Der Bereich liegt dabei zwischen 0 – 100 % bzw. in Ziffern 0 - 1, die Summe aller muss 1 betragen.

$$\sum x_1, x_2, x_3, \dots x_i = 1$$

Es wird eine Zielfunktion Z formuliert, welche alle Kriterien mit entsprechender Wichtung enthält.

$$Z_i = a * x_1 + b * x_2 + \dots + A_i * x_i$$

Hinter dieser Funktion kann man die Kosten verstehen, da Optimierung für effizienteren Nutzen steht und dies eine Einsparung von Kosten mit sich bringt. Um einen Vergleich der Montagevarianten durchführen zu können, müssen diese in jedem einzelnen Kriterium mit einem geeigneten Punktesystem bewertet werden. Diese Bewertung wird anschließend für jede Variante in die Zielfunktion eingesetzt. Die Ergebnisse lassen Aussagen zur Geeignetheit der Montagemöglichkeiten zu und werden zur Auswertung herangezogen.

4.3 Vergleichskriterien

Folgend wird jeder Vergleichspunkt in seiner Bedeutung dargestellt und eine Wichtung angegeben, welche sich auf die Montage der REA bezieht und in diesem Fall die Interessen der IMO Leipzig GmbH widerspiegelt. Diese Wichtungen sind später Grundlage für den Vergleich I unter 5.1.

- **Montagedauer**

Dieser Punkt bezieht sich auf die unter 3.6 dargestellten Zeitablaufpläne, welche die benötigte Zeit für die Montage aufzeigen. Er bekommt eine Wichtung von 25 %, da die Länge eines Montagezeitraumes sehr eng in Verbindung mit den entstehenden Kosten steht. Es ist nicht gleichbedeutend damit, dass schnell gleich billig ist, aber eine effizientere Nutzung der zur Verfügung stehenden Mittel verbirgt sich in jedem Fall dahinter und ist auch in dem Bereich der Stahlbaumontage anzustreben.

- **Einsatz der Arbeitskräfte**

Wie viele, Wo, Was, Wann und wie lange? Das sind die 5 Fragewörter auf die es eine Antwort bei der Planung der Arbeitskräfte zu finden gilt. Dies wird hier keineswegs detailliert abgehandelt, muss aber immer in die Planungen eines Montageablaufs einbezogen werden. Die Kosten für Personal haben einen bedeutenden Anteil an den Gesamtkosten, womit eine Minimierung notwendig ist. Von Bedeutung ist es auch, ob eine konstante Zahl von Monteuren beschäftigt werden kann oder ob es Stoßzeiten gibt, wo zusätzliche Kräfte bereitgestellt werden müssen. Es wird eine Wichtung von 20 % angesetzt um den bedeutenden Einfluß auf die Kosten gerecht werden zu können.

- **Hebezeug**

Mit 15 % wird dieser Punkt gewichtet, der den Einsatz von Hebezeugen behandelt. Welche Größe und Anzahl der Krantypen ist notwendig um die geplante Montagevariante durchzuführen? Wie lang sind die notwendigen Einsatzzeiten des Hebezeuges und wie viel Zeit bedarf es den Auf- und Abbau des jeweiligen Gerätes? Planungsschritte die wichtig für den gesamten Montageprozess sind, auch im Hinblick auf die Gesamtkosten.

- **Hilfskonstruktionen / statische Aspekte**

Hierbei soll abgewogen werden, bei welcher Variante der Aufwand der Hilfskonstruktionen am höchsten ist. Wie groß ist der Materialaufwand, welche Tätigkeiten müssen durchgeführt werden und wie ist das Erreichen der Tätigkeitsorte möglich. Unter den statischen Aspekten sollen Montageschritte aufgeführt werden, an denen statische Nachweise erbracht werden müssen. Ein Mehraufwand speziell im Bereich der Hilfskonstruktionen ist gleichbedeutend mit höheren Gesamtkosten und wird mit 10 % gewichtet.

- **Zugänglichkeiten**

Ebenfalls mit 10 % wird dieses Kriterium gewichtet, weil es mit den Hilfskonstruktionen teilweise in Verbindung steht. Ein Teil dieser wird in Form von Rüstungen dazu verwendet, um eine Möglichkeit zum Zugang an einen Montageort zu schaffen. In diesem Punkt wird bewertet, wie bei jedem einzelnen Montageschritt der Monteur seinen Arbeitsort erreichen kann und wie aufwendig gegebenenfalls Maßnahmen sind, diesen Zugang zu gewähren.

- **Arbeitssicherheit**

Dieser Punkt soll vergleichen, wie aufwendig die Maßnahmen sind, um ein sicheres Arbeiten des Monteurs zu gewährleisten. Es ist immer und überall eine maximale Sicherheit anzustreben, wobei trotz vermehrter Maßnahmen ein Arbeiten in der Höhe ein größeres Risiko mit sich bringt und somit schlechter zu werten ist als ein bodennahes Arbeiten. Dieser Punkt fließt mit 10 % in die Gesamtwertung ein.

- **benötigte Montageflächen**

Eine platzsparende Variante wird hier am besten bewertet. Montageflächen sind auf einer Baustelle meist von vielen Gewerken umworben und somit knapp, wenn eine Baustelle dies überhaupt hergibt. Genügend Fläche für Vor- und Endmontage, Zwischenlagerungen und zum platzieren des Hebezeuges können entscheidend für eine Montageplanung sein, am Beispiel der REA ist aber genügend Platz vorhanden, somit wird eine Wichtung von 5 % festgelegt.

- **Flexibilität**

Die Montageplanung muss praxisnah erfolgen. Oft weicht die Praxis stark von der Theorie der Montageplanung ab. Mit diesem Kriterium soll bewertet werden, wie viel Spielraum für eine abweichende Montagereihenfolge vorhanden ist. Können Ausweichsarbeiten verrichtet werden oder kommt es bei der Montage zu Verzögerungen, weil die Reihenfolge aus statischen- und Platzgründen eingehalten werden muss. Faktoren die ständig überprüft werden und deshalb eine Wichtung von 2,5 % erhalten.

- **Umsetzung von kurzfristigen Zeichnungsänderungen/Anpassungen**

Schwieriger als wie bei dem vorangegangenen Punkt ist dieses Kriterium vorhersehbar, es muss jedoch reagiert werden. Wie groß gegebenenfalls der Aufwand und die Umständlichkeit dafür ist, soll hier bewertet werden und wird mit 2,5 % gewichtet.

- **Montagekosten**

Der oft entscheidende Punkt bei der Auswahl des Montageverfahrens, in dieser Auswertung aber nicht direkt mit einbezogen. Eine Wichtung der gesamten Montagekosten würde das Ergebnis verfälschen, da die Kosten bei jedem Vergleichskriterium schon indirekt mit berücksichtigt werden. Die Zielfunktion, welche alle Kriterien vereint, steht in der Auswertung stellvertretend für die Montagekosten. Dennoch wird dieses Kriterium mit in die erweiterte Auswertung aufgenommen, um am Beispiel darstellen und belegen zu können, wie sich die Gesamtkosten der jeweiligen Variante zusammensetzen und wie Schlüsse auf die geeignetste Montagemethode für die REA gezogen werden können.

5 Variantenvergleich

5.1 Vergleich I am Beispiel der REA

Dieser erste Vergleich bezieht sich auf das Beispiel der REA und dessen Gegebenheiten. Es soll festgestellt werden, welche der 3 Varianten die wirtschaftlichste Lösung für die IMO Leipzig GmbH darstellt.

- **Montagedauer**

- V 3 = 3 Punkte
- V 2 = 2 Punkte
- V 1 = 1 Punkt

Wie aus den Zeitablaufplänen ersichtlich, ist die „komplette Vormontage“ mit einem Zeitraum von 5 Wochen die schnellste Montagevariante. Mit 6 Wochen folgt die „Baugruppenmontage“, den längsten Zeitraum benötigt die „Einzelteilmontage“ mit 8 Wochen.

- **Einsatz der Arbeitskräfte**

- V 3 = 3 Punkte
- V 2 = 2 Punkte
- V 1 = 1 Punkt

Entscheidenden Einfluss auf die Festlegung der Rangfolge hat die unter den Kostenaufstellungen dargestellte Anzahl der Monteurstunden. V1 mit 1580 Stunden, V2 mit 1368 Stunden sowie V3 mit 1294 Stunden. Bei allen Varianten ist festzustellen, dass vor allem bei Tätigkeiten des Verschraubens oder bei Montage großer Baugruppen es zu mehr oder weniger großen Schwankungen im Bezug auf die Anzahl der Monteure kommt. Bei dieser Betrachtungsweise wäre die Variante 1 günstiger und V3 ist durch die größten Schwankungen als ungünstiger einzustufen. Da dieser Punkt durch eine genaue Arbeitsplanung leicht handzuhaben ist und von der Montagefirma genügend Personal gestellt werden kann, erfolgt die Bewertung des Kriteriums wie oben dargestellt.

- **Hebezeug**

- V 1 = 3 Punkte
- V 3 = 2 Punkte
- V 2 = 1 Punkt

Am einfachsten zu planen und am preiswertesten ist die Nutzung des Hebezeugs von V1. Ein Kran wird über den gesamten Montagezeitraum genutzt und ist trotz seiner längeren Mietzeit billiger als die Montagekräne der anderen beiden Varianten. Bei V3 stehen hohe Auf- und Abbaukosten dem sehr kurzen Nutzungszeitraum gegenüber. Es sind weitere Vormontagkräne nötig, deren Einsatzzeit koordiniert werden muss, somit Kosten für Hebezeuge von 78.510,- € (V3) gegenüber 74.000,- € (V1) entstehen. Am ungünstigsten ist das Kranmodell von V2 zu bewerten. Durch die vormontierten Baugruppen ist ein größeres Hebezeug mit entsprechenden Auf- und Abbaukosten notwendig, und dies über einen relativ langen Zeitraum. In Verbindung mit dem nötigem Vormontagekran belaufen sich die Kosten auf 82.450,- €.

- **Hilfskonstruktionen / statische Aspekte**

- V 3 = 3 Punkte
- V 1 = 2 Punkte
- V 2 = 1 Punkt

Schon beim ersten Montageschritt von V1, dem Stellen der Stützen, ist eine Hilfskonstruktion nötig. Die einzeln stehenden Stützen sind nur am unteren Ende verschraubt und müssen gegen ein Umkippen gesichert werden. Dies kann mit den unter Abbildung 12 dargestellten Spannschlössern realisiert werden. Gleiches gilt wenn anschließend die Riegel zwischen den Stützen montiert werden und die Scheiben der Achsen 5 und 10 entstehen. Sind die ersten Riegel der Achsen D und G eingebaut ist ein räumliches Gebilde entstanden, welches als statisch stabil angesehen werden kann. In den folgenden Montageschritten ist somit keine weitere Hilfskonstruktion nötig.

Auch ist beim Anschlagen der Einzelteile mit keinen statischen Problemen zu rechnen, da es sich in allen Fällen um separate Träger oder Hohlprofilen handelt, die in sich stabil genug sind um die entstehenden Lasten beim Transport und der Montage abtragen zu können.

Bei der „Baugruppenmontage“ kommen schon in der Vormontage Hilfskonstruktionen zum Einsatz. Bei dem Zusammenbau der Scheiben sowie den K-Verbänden müssen die jeweiligen Diagonalen abgehangen werden um beim Transport zum Montageort nicht abzuknicken und deformiert zu werden. Dies kann z.B. mit Einschweißen von fixierenden Streben gemacht werden. Desweiteren müssen bei der Montage der Scheiben wieder Maßnahmen getätigt werden, welche ein Umkippen der Scheiben verhindern bis durch das Einbauen der K-Verbände genügend Stabilität vorhanden ist. Statische Nachweise sind bei dem Anschlagen der vormontierten Bauteile zu erbringen. Das Anschlagsystem ist so zu wählen, dass jeder Träger und Anschluss den Belastungen standhält, gegebenenfalls sind Hilfsaussteifungen einzubringen.

Die Diagonalen der unteren Ebene müssen bei V3 abgehangen werden. Hinzu kommt das vor dem Zusammenbau des räumlichen Tragwerkes am Boden die Standorte der Stützen ausgemessen werden müssen und eine geeignete Unterkonstruktion geschaffen werden muss. Die beim Stellen der Scheiben und Einbau der K-Verbände nötigen zusätzlichen 2 Vormontagekräne können hierbei als Hilfskonstruktion angesehen werden. Sie sichern die Scheiben gegen Umkippen während sie einzeln stehen und ersparen somit ein Anbringen von Hilfsstreben oder Spannschlössern. Ein nachgewiesener Anschlag der am Boden montierten Baugruppen ist auch bei dieser Variante wieder notwendig.

Als aufwendigste Hilfskonstruktion ist bei diesen Ausführungen das Nutzen der Spannschlösser anzusehen. Die Ösen müssen angeschweißt werden und nach der Montage wieder entfernt werden. Die Schadstellen vom schon in der Fertigung aufgetragenen Korrosionsschutz müssen ausgebessert werden. Zudem ist für alle diese Vorgänge eine Einrüstung um die Stütze herum notwendig um ein sicheres Erreichen der Tätigkeitsorte zu gewährleisten.

Ausbesserungen sind auch nach dem Anschweißen und Entfernen von den Aufhängungen der Diagonalen notwendig, können aber vom Bauwerk aus getätigt werden und haben keinen so großen Umfang. Bei der „kompletten Vormontage“ werden durch den Einsatz der 2 zusätzlichen Kräne Schweißarbeiten weitestgehend vermieden. Nur die unteren Diagonalen müssen abgehängt werden, womit V3 als die mit dem geringsten Aufwand für Hilfskonstruktionen angesehen werden kann. Der meiste Aufwand ist bei der Durchführung von V2 zu erwarten, da sowohl Spannschlösser als auch Abhängungen für alle Diagonalen zum Einsatz kommen.

- **Zugänglichkeiten**

- V 3 = 3 Punkte
- V 2 = 2 Punkte
- V 1 = 1 Punkt

Am einfachsten ist ein Zugang zu den Tätigkeitsorten bei V3 zu realisieren. Vormontagearbeiten finden am Boden statt und sind gegebenenfalls mit Hilfe von Hubbühnen zu erledigen. Bei der Montage wird die Bühne +94 m genutzt. Anders bei V2 und V1, wo bei der Vormontage keine Hilfsmittel benötigt werden. Bei der Montage hingegen sind Einrüstungen um die Stützenstöße herum nötig, sowie Hubbühnen um höher gelegene Montagestöße zu erreichen. Variante 2 ist in diesem Punkt besser zu bewerten als V1, da schon ein Teil der Arbeiten an schwer zugänglichen Arbeitsorten in der Vormontage erledigt wird.

- **Arbeitssicherheit**

- V 3 = 3 Punkte
- V 2 = 2 Punkte
- V 1 = 1 Punkt

Vom Aufwand her für die Gewährleistung der Sicherheit sind V1 und V2 gleich zu bewerten. Da aber die kompletten Arbeiten bei V1 auf dem Bauwerk stattfinden, bleibt ein höheres Restrisiko gegenüber V2, womit diese Variante als schlechteste gewertet wird.

Durch die Verlegung des Großteils der Montagearbeiten an den Erdboden und das nicht nötige Einrüsten der Stützenstöße ist bei diesem Kriterium V3 eindeutig als am geeignetsten zu beurteilen.

- **benötigte Montageflächen**

- V 1 = 3 Punkte
- V 2 = 2 Punkte
- V 3 = 1 Punkt

In diesem Punkt ist die „Einzelteilmontage“ klar als günstigste Variante zu bewerten, da kein Vormontageplatz notwendig ist und „nur“ genügend Platz für den Montagekran und zur Lagerung von angelieferten Bauteilen vorhanden sein muss. Zunehmend mehr Platz wird für V2 und V3 benötigt. Hier müssen zusätzlich Flächen für die Vormontage, die Lagerung der Baugruppen und für die zum Einsatz kommenden Hebezeuge vorhanden sein.

- **Flexibilität**

- V 3 = 3 Punkte
- V 2 = 2 Punkte
- V 1 = 1 Punkt

Aus statischen und platztechnischen Gründen ist es schwierig von der Montager Reihenfolge bei V1 abzuweichen ohne einen größeren Mehraufwand zu bekommen. Etwas flexibler sind da V2 und V3 zu bewerten, da vor allem bei Vormontagearbeiten variiert werden kann.

- **Umsetzung von kurzfristigen Zeichnungsänderungen/Anpassungen**

- V 3 = 3 Punkte
- V 2 = 2 Punkte
- V 1 = 1 Punkt

Ähnlich wie bei dem Kriterium „Flexibilität“ ist es auch hier die Tendenz so, Änderungen besser vornehmen zu können je mehr vormontiert wird. Ist ein Teil erst einmal verbaut, ist es oft umständlich an die Position zu gelangen und die erforderlichen Arbeiten auszuführen.

- **Vergleich / Auswertung**

In folgender Tabelle werden Punktvergaben der Auswertungskriterien zu den Montagevarianten dargestellt. Die Berechnung der Gesamtpunkte erfolgt nach dem unter 4.2 beschriebenen System.

	Dauer	AK	Hebezeug	Hilfskon.	Zugang	Sicherheit	Flächen	Flexi.	Änderung	Gesamtpkt.
	25%	20%	15%	10%	10%	10%	5%	2,5 %	2,5 %	
V 1	1	1	3	2	1	1	3	1	1	1,5
V 2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1,75
V 3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	2,75

Abbildung 34: Vergleich I

Eindeutig ist die Variante 3 mit der „kompletten Vormontage“ für das Projekt der REA zu empfehlen. In fast allen hochgewichteten Kriterien erhielt V3 die höchste Punktzahl und liegt somit in der Wertung mit 2,75 Punkten weit vor V2. Diese Reihenfolge kommt vor allem mit dem großen Vorteil für V3 zu Stande, dass der Großteil der Arbeiten am Boden stattfindet. Dieser Aspekt wirkt sich auf viele Bewertungskriterien positiv aus, dies lässt sich auch im Vergleich von V2 mit V1 erkennen.

Veranschaulichen lässt sich dieser Punkt, wenn man die Montagestunden pro Tonne Stahl und die Montagekosten pro Tonne Stahl der 3 Varianten hernimmt und sie im Verhältnis zu den Stückgrößen in einem Diagramm wie auf folgender Seite darstellt.

Montagevariante	Stückgewicht	Montagestunden / t	Montagekosten / t [€]
Einzelteilmontage	3	3,1	1322
Baugruppenmontage	15	2,3	1251
komplette Vormontage	130	1,9	1162

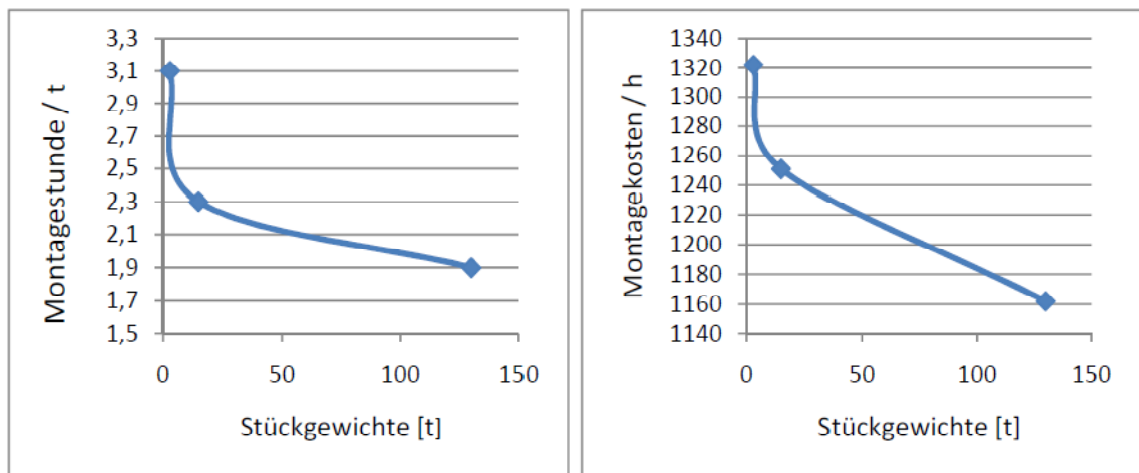


Abbildung 35: Ergebnisse zur Abhängigkeit der Stückgewichte zu Montagestunden und Montagekosten aus dem Beispiel der REA

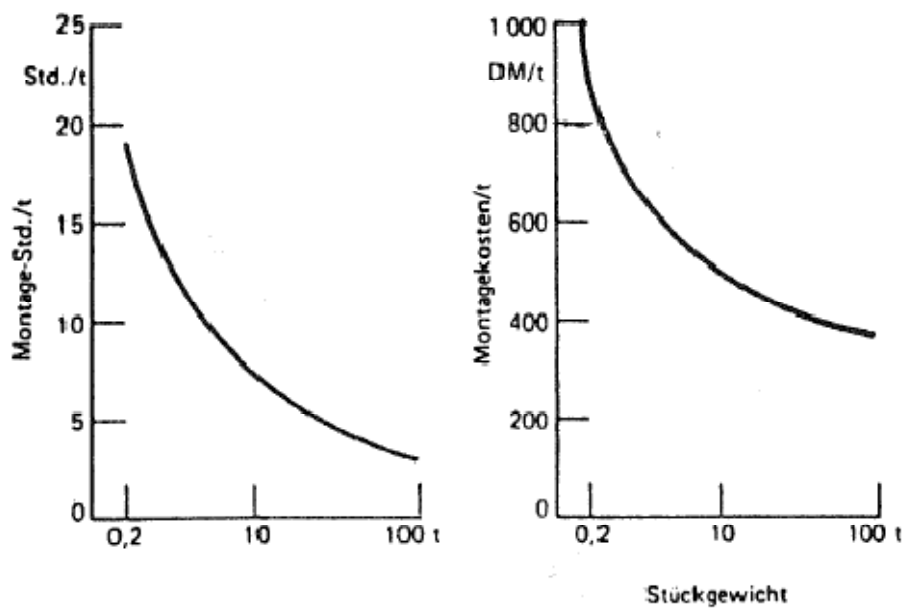


Abbildung 36: Ergebnisse zur Abhängigkeit der Stückgewichte zu Montagestunden und Montagekosten aus dem „Handbuch der Stahlbaumontage“

Vergleicht man die Kurven aus dem Beispiel der REA mit denen aus dem „Handbuch der Stahlbaumontage“ aus Punkt 2.1, ist ein ähnlicher Verlauf zu erkennen. Somit bestätigt die Untersuchung am Beispiel der REA die Tendenz, dass mit einer Vormontage größerer Bauteile die Gesamtkosten der Montage geringer werden. Dies spiegelt die geringe Anzahl der Montagestunden pro Tonne Stahl wieder, ebenso wie schon die geringeren Montagekosten pro Tonne Stahl.

Um eine detailliertere Auswertung über die Errichtung der REA treffen zu können, sollen die Gesamtkosten der Montagemöglichkeiten im folgendem nochmal gesplittet und diesbezüglich bewertet werden. Es wird in 3 allgemeine Gruppen der Arbeiter-, Kran- und Maschinenkosten aufgeteilt und in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Kostenpunkt	Einzelteilmontage		Baugruppenmontage		komplette Vormontage	
	Anteil in €	Anteil in %	Anteil in €	Anteil in %	Anteil in €	Anteil in %
Arbeiter	81230	47,3	69283	42,7	64598	42,8
Kran	74000	43,0	82450	50,7	78510	52,0
Maschinen	16600	9,7	10845	6,6	7892	5,2
Gesamt	171890	100	162578	100	151000	100

Abbildung 37: Kostensplittung der Montagevarianten

Vergleicht man die Kosten der Arbeitskräfte ist beginnend von der „Einzelteilmontage“ hin zur „kompletten Vormontage“ zu beobachten, dass die Kosten geringer werden. Dies ist damit zu begründen, dass der Aufwand bei einer Montage in der Höhe, wie bei der „Einzelteilmontage“, aufwendiger und somit zeitintensiver ist als wenn Arbeiten am Boden verrichtet werden. Das spiegelt auch die Tatsache wieder, dass mit 47,3 % der Gesamtkosten der Anteil für die Arbeitskräfte bei der „Einzelteilmontage“ der Größte ist. Mit zunehmendem Grad der Vormontage ist die Tendenz vorhanden, dass der Anteil der Arbeitskraftkosten weiter sinkt, womit wieder ein effizienterer Einsatz der Monteure belegt ist.

Keine klare Entwicklung hingegen ist bei dem Vergleich der Krankkosten zu erkennen. Diese liegen bei allen 3 Varianten etwa im gleichen Bereich. Bei der „Einzelteilmontage“ ist der Auf- und Abbaupreis von 18500 € sowie der Stundensatz von nur 185 € im Verhältnis gesehen gering. Anders als bei den beiden anderen Varianten fallen zusätzlich auch keine Kosten für die Vormontagegeräte an. Der Großteil der Krankkosten entsteht somit über den langen Nutzungszeitraum des Hebezeuges. Anders herum ist dies bei der „kompletten Vormontage“. Hier fallen speziell die Kosten für Auf- und Abbau des Hebezeuges schwer ins Gewicht, rund ein dreiviertel der gesamten Krankkosten fallen hierfür an. Dafür wird das Hebezeug nur für einen kurzen Zeitraum genutzt, womit der hohe Stundensatz von 600 € fast unbedeutend ist. Bei der „Baugruppenmontage“ benötigt man wegen der vormontierten Teile gegenüber der „Einzelteilmontage“ ein größeres und teureres Hebezeug, hat aber immer noch einen relativ großen Montageaufwand, weshalb die Krankkosten bei dieser Variante sogar am größten sind, aber immer noch vergleichbar mit den der anderen Montagemöglichkeiten. Insgesamt ist zu sagen, dass bei diesem Projekt mit keiner Montagevariante eine große Einsparung im Bezug auf die anfallenden Krankkosten möglich ist.

Bei den Kosten für angemietete Maschinen ist die gleiche Entwicklung vorhanden wie bei den Arbeiterkosten. Je größer der Grat der Vormontage wird, desto geringer werden die Maschinenkosten. Da diese Geräte meistens pauschal angemietet werden sind sie abhängig von der Montage- bzw. Vormontagedauer. Die „Einzelteilmontage“ dauert bedeutend länger als die „komplette Vormontage“, womit sich unter anderem die großen Unterschiede bei den Maschinenkosten von über 50 % zwischen den Montagevarianten begründen lassen.

Alle Betrachtungsweisen herangezogen ist zu sagen, dass Variante 3 mit der „kompletten Vormontage“ die für die IMO - Leipzig GmbH zu empfehlende Montagevariante für das Teilstück +94m bis +113m der REA ist.

5.2 Vergleiche II–VIII unter allgemeinen Schwerpunkten

Folgend werden Vergleiche dargeboten, bei denen jeweils ein Kriterium in den Vordergrund gestellt wird, in dem es eine Wichtung von 50 % erhält. Dies sind allgemeine, theoretische Annahmen die dazu dienen sollen, Tendenzen über die Anwendung der verschiedenen Montagevarianten im Bereich des Stahlbaus treffen zu können. Ausnahmefälle die eine noch höhere Wichtung eines einzelnen Punktes erfordern werden nicht berücksichtigt.

Die Punkte „Flexibilität“ und „Umsetzung von kurzfristigen Zeichnungsänderungen/Anpassungen“ werden nicht besonders gewichtet. Es wäre nicht sinnvoll eine Montageplanung unter dem Gesichtspunkt zu tätigen, dass wahrscheinlich Änderungen im Montageablauf auftreten und dies vordergründlich berücksichtigt werden muss.

• Vergleich II

Das Kriterium „Montagedauer“ steht im Fokus.

	Dauer	AK	Hebezeug	Hilfskon.	Zugang	Sicherheit	Flächen	Flexi.	Änderung	Gesamtpkt.
	50%	10%	7,5%	5%	10%	10%	2,5%	2,5 %	2,5 %	
V 1	1	1	3	2	1	1	3	1	1	1,25
V 2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1,875
V 3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	2,875

Abbildung 38: Vergleich II

• Vergleich III

Das Kriterium „Einsatz der Arbeitskräfte“ steht im Fokus.

	Dauer	AK	Hebezeug	Hilfskon.	Zugang	Sicherheit	Flächen	Flexi.	Änderung	Gesamtpkt.
	12,5%	50%	7,5%	5%	5%	10%	5%	2,5 %	2,5 %	
V 1	1	1	3	2	1	1	3	1	1	1,3
V 2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1,875
V 3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	2,825

Abbildung 39: Vergleich III

- **Vergleich IV**

Das Kriterium „Hebezeuge“ steht im Fokus.

	Dauer	AK	Hebezeug	Hilfskon.	Zugang	Sicherheit	Flächen	Flexi.	Änderung	Gesamtpkt.
	12,5%	10%	50%	5%	5%	10%	2,5%	2,5 %	2,5 %	
V 1	1	1	3	2	1	1	3	1	1	2,1
V 2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1,45
V 3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	2,45

Abbildung 40: Vergleich IV

- **Vergleich V**

Das Kriterium „Hilfskonstruktionen / statische Aspekte“ steht im Fokus.

	Dauer	AK	Hebezeug	Hilfskon.	Zugang	Sicherheit	Flächen	Flexi.	Änderung	Gesamtpkt.
	12,5%	10%	7,5%	50%	5%	5%	5%	2,5 %	2,5 %	
V 1	1	1	3	2	1	1	3	1	1	1,75
V 2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1,425
V 3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	2,825

Abbildung 41: Vergleich V

- **Vergleich VI**

Das Kriterium „Zugänglichkeiten“ steht im Fokus.

	Dauer	AK	Hebezeug	Hilfskon.	Zugang	Sicherheit	Flächen	Flexi.	Änderung	Gesamtpkt.
	12,5%	10%	7,5%	5%	50%	5%	5%	2,5 %	2,5 %	
V 1	1	1	3	2	1	1	3	1	1	1,3
V 2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1,875
V 3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	2,825

Abbildung 42: Vergleich VI

- **Vergleich VII**

Das Kriterium „Sicherheit“ steht im Fokus.

	Dauer	AK	Hebezeug	Hilfskon.	Zugang	Sicherheit	Flächen	Flexi.	Änderung	Gesamtpkt.
	12,5%	10%	7,5%	5%	5%	50%	5%	2,5 %	2,5 %	
V 1	1	1	3	2	1	1	3	1	1	1,3
V 2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1,875
V 3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	2,825

Abbildung 43: Vergleich VII

- **Vergleich VIII**

Das Kriterium „Montageflächen“ steht im Fokus.

	Dauer	AK	Hebezeug	Hilfskon.	Zugang	Sicherheit	Flächen	Flexi.	Änderung	Gesamtpkt.
	12,5%	10%	7,5%	5%	5%	5%	50%	2,5 %	2,5 %	
V 1	1	1	3	2	1	1	3	1	1	2,2
V 2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1,875
V 3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	1,925

Abbildung 44: Vergleich VIII

- **Auswertung**

Die nachstehende Tabelle soll einen Überblick über die Ergebnisse der Vergleiche II – VIII geben und stellt für jeden Wichtungspunkt die Reihenfolge der Platzierungen dar.

	Dauer	AK	Hebezeug	Hilfskon.	Zugang	Sicherheit	Flächen
V 1	3.	3.	2.	2.	3.	3.	1.
V 2	2.	2.	3.	3.	2.	2.	3.
V 3	1.	1.	1.	1.	1.	1.	2.

Abbildung 45: Platzierungen der Vergleiche II - VIII

Variante 3 geht auch bei diesen Vergleichen als klarer Sieger hervor. Lediglich bei Gegebenheiten mit sehr wenig Platz ist V1 zu bevorzugen bzw. werden andere Montagevarianten kaum umsetzbar sein. Zieht man nur die Möglichkeiten der V1 und V2 heran, ist es schwer eine allgemeine Bevorzugung für eine Variante zu nennen. Hier hängt der Ausschlag für eine Montagemöglichkeit sehr von speziellen Baustellenumständen oder -bedingungen ab.

Zusammenfassend bestätigt sich aber der Trend , dass ein Vormontieren von Baugruppen ein Grundelement für eine wirtschaftliche Montage ist. Wie groß der Grat der Vormontage für eine optimale Nutzung der Ressourcen sein sollte, hängt stark vom jeweiligen Bauvorhaben und dessen Gegebenheiten ab. Man kann aber den Leitsatz aussprechen „je mehr vormontiert werden kann, desto besser ist das für die Montagegesamtkosten“.

6 Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit gibt einen Überblick über die in der heutigen Zeit angewandten Montageverfahren des Stahlbaus, speziell im Bereich des Stahlhochbaus. Die verschiedenen Varianten werden kurz in ihrem Ablauf erklärt. Intensiver wird auf die Möglichkeiten der „Einzelteilmontage“, „Baugruppenmontage“ und die „komplette Vormontage“ eingegangen. Diese werden am Beispiel eines Teilstückes einer Rauchgasentschwefelungsanlage durchexerziert. Montage-reihenfolgen, Zeitablaufpläne, Einsatz von Hebezeugen, Montagewerkzeugen und Arbeitskräften sowie Kostenrechnungen sind für diese Varianten geplant und dargestellt worden.

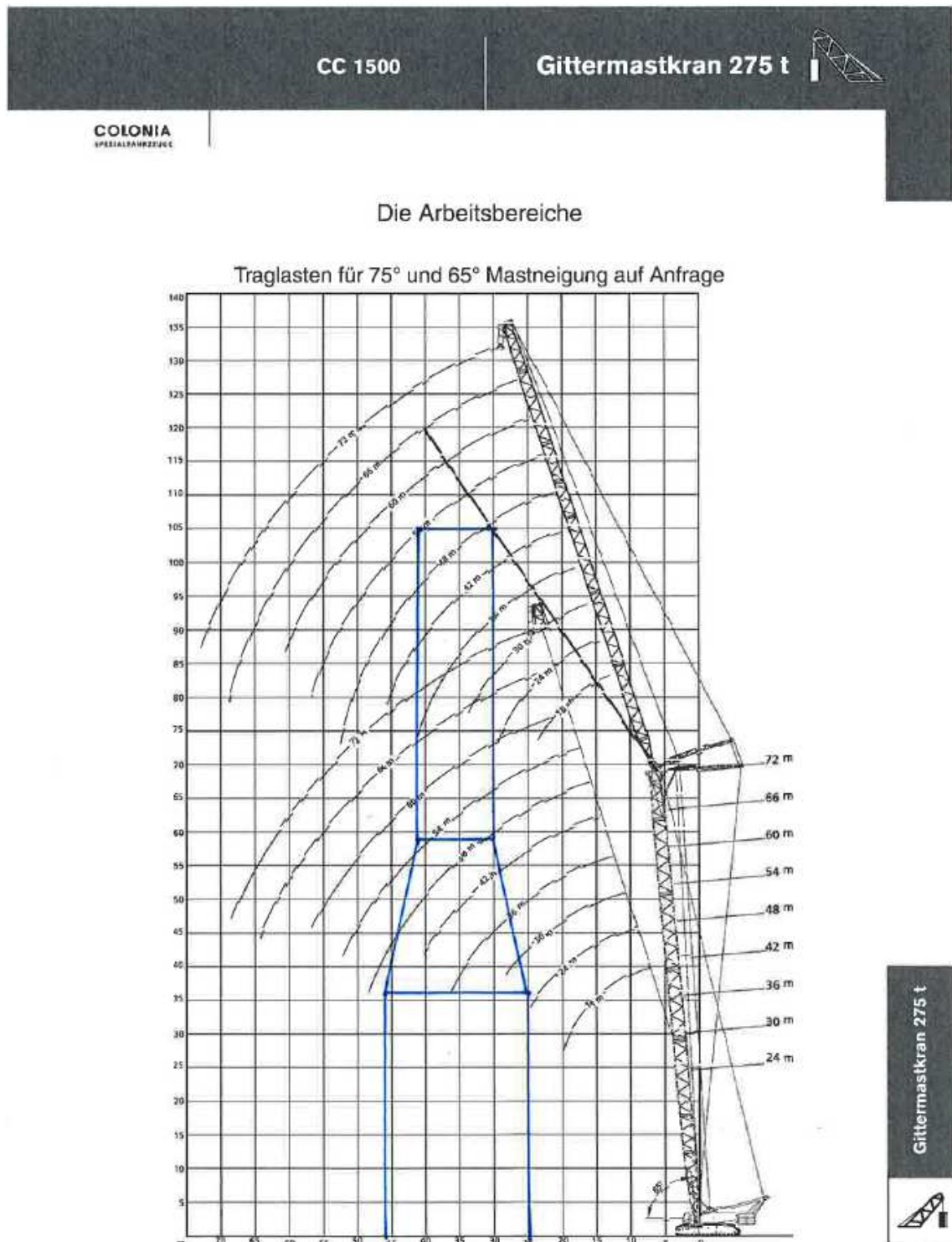
Das Thema der Stahlbaumontage ist mit seinen vielen Faktoren die in den Ablauf hineinspielen sehr komplex. Handelt es sich nicht um eine Serienmontage dann gibt es für kaum einen Auftrag der Stahlbaumontage ein Patentrezept. Es herrschen immer wieder neue Bedingungen vor, auf welche es sich einzustellen gilt. Deshalb sind ingenieurtechnische Erfahrungen in diesem Bereich besonders begehrt. Diese Arbeit mit dem Beispiel der REA gibt einen Einblick in diese Komplexität. Mit den durchgeführten Vergleichen der 3 Varianten wird zu dem Beispiel der Montage der REA das Montageverfahren ausgewählt, welches für die IMO – Leipzig GmbH unter den gegebenen Umständen das wirtschaftlichste ist. Zu diesem Zweck wird eine Form der Polyoptimierung eingesetzt um überschaubare Vergleiche darstellen zu können. Bei weiteren Vergleichen oder anders Optimierungen werden ebenfalls diese 3 Varianten unter verschiedener Wichtung der Vergleichskriterien gegenübergestellt, um allgemeine Aussagen über die Verwendung von Stahlbaumontagevarianten treffen zu können.

Im Bezug auf das konkrete Beispiel ist zu sagen, dass eine „komplette Vormontage“ des Bauabschnittes und die Montage mit einem Hub zu empfehlen ist. Vor allem Vorteile die sich aus dem bodennahen Montieren ergeben wiegen schwer und lassen diese Entscheidung entstehen.

In den allgemeinen Vergleichen ist klar eine Tendenz zu erkennen, welche mit dem Ergebnis der Montage der REA übereinstimmt. Je größer die Baugruppen in der Vormontage oder schon in der Fertigung hergestellt werden, desto günstiger sind die Montagegesamtkosten. Dies ist die Erkenntnis wenn relativ normale Umstände auf den Baustellen herrschen. Es gibt aber auch genügend Fälle in der Branche, wo besondere Umstände besondere Montageplanungen und –abläufe erfordern. Diese Tatsache ist es, welche nur gewisse Schemen und keine standardisierten Anleitungen zur Abwicklung von Montageplanungen zulässt. Somit ist der Reiz für Ingenieure in diesem Tätigkeitsfeld aktiv zu sein noch über Jahrzehnte gegeben und verspricht einen abwechslungsreichen Berufsalltag.

Anhang

A.1 Krandaten zum CC 1500 72m/66m





Gittermastkran 275 t

CC 1500

COLONIA
SPECIALFAHRZEUGE



72m
85°



18-60m



7,25m



120t



360°

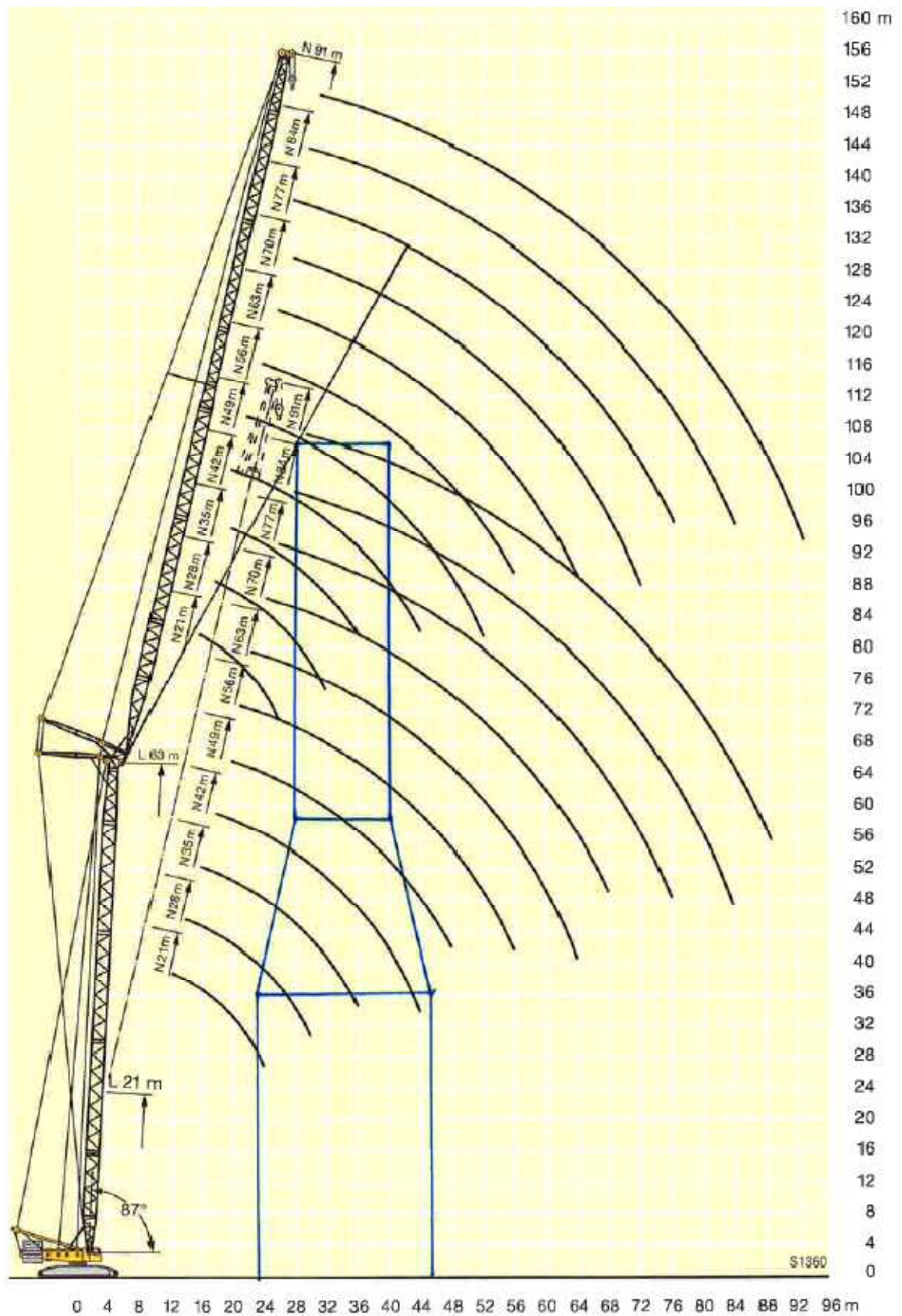








DIN
75%

	72*								
	18	24	30	36	42	48	54	60	
17	32,2								17
18	31								18
19	30	26,2							19
20	28,9	25,3							20
21	27,9	24,5	22,2						21
22	26,9	23,7	21,5						22
23	26,2	23,1	20,8	18,7					23
24	25,5	22,4	20,2	18,1					24
25	24,9	21,7	19,7	17,5	15,6				25
26	24,4	21,1	19,2	17	15,2				26
28		20,2	18,4	16,1	14,4	12,5			28
30		19,4	17,5	15,6	13,7	11,8	10,2		30
34			16,3	14,4	12,9	11	9,3	7,5	34
38				13,5	12	10,4	8,8	7	38
42				12,6	11,3	9,7	8,3	6,6	42
46					10,6	9,2	7,7	6,2	46
50						8,6	7,3	5,8	50
54						8,1	6,9	5,4	54
58							6,5	5,1	58
62								4,7	62
66								4,4	66

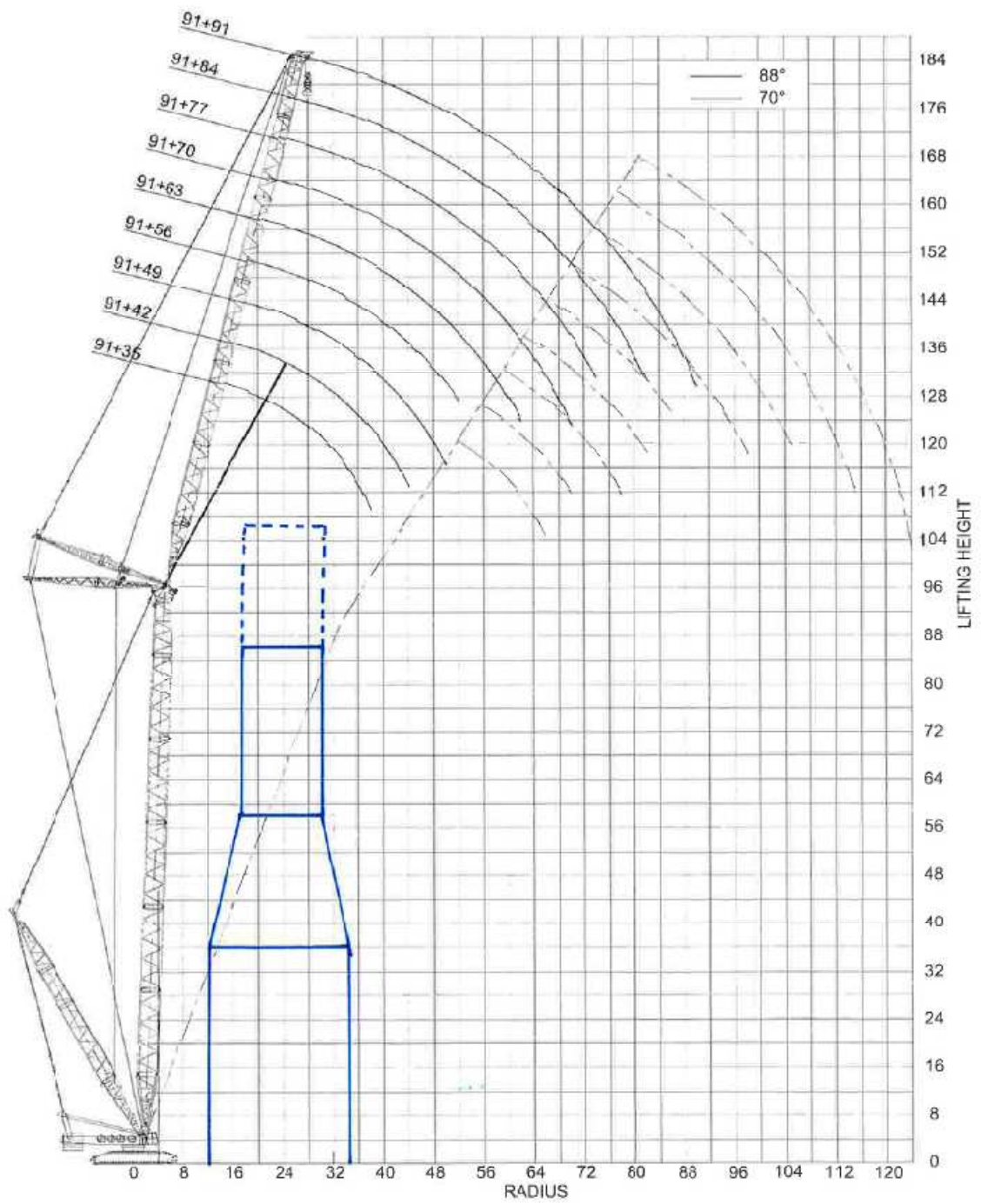
mit 20t Zentralballast

A.2 Krantaten vom LR 1400



	 m	 21 m x 31 m SL	 360°	 130 t	 43 t								 m
		21 m	28 m	35 m	42 m	49 m	56 m	63 m	70 m	77 m	84 m	91 m	
4,5		350											4,5
5		350											5
5,5		339											5,5
6		313	305										6
6,5		290	284										6,5
7		271	265	271	265								7
8		239	234	239	234	229							8
9		213	218	213	209	205	194						9
10		193	197	193	189	185	174	165	166				10
11		183	179	175	172	168	158	150	142	132			11
12		168	164	161	158	153	144	137	130	124	114		12
14		143	140	137	134	129	123	117	111	107	102	93	14
16		119	118	117	115	112	106	102	97	93	89	85	16
18		101	100	99	99	98	93	89	85	82	78	75	18
20		87	86	86	85	85	82	79	76	73	69	67	20
22			76	75	74	74	73	71	68	65	62	60	22
24			67	67	66	65	65	64	61	59	56	54	24
26			61	60	59	59	58	57	55	53	51	48,5	26
28				54	53	53	52	51	50	48,5	46	44	28
30				49	48,5	48	46,5	46	45,5	44,5	42	40	30
32				45	44	43,5	42,5	42	41	40,5	38,5	36,5	32
34					40,5	40	39	38,5	37,5	37	35	33,5	34
36					37,5	37	35,5	35	34,5	34	32	30,5	36
38					35	34	33	32	31,5	31	29,4	27,8	38
40						31,5	30,5	29,7	28,9	28,3	26,9	25,3	40
44						27,5	26,2	25,5	24,6	24	22,5	20,9	44
48							22,8	22	21,1	20,5	18,8	17,3	48
52								19,2	18,1	17,4	15,7	14,2	52
56								16,8	15,6	14,8	13	11,5	56
60									13,4	12,6	10,7	9	60
64										10,7	8,7	6,8	64
68										9	6,8	5,5	68
72											5,7	4,3	72
76											4,7	3,3	76

A.3 Krantaten vom LR 1800



Mainboom with luffing jib and superlift																																
	jib length	length																														
			35	42	49	56	63	70	77	84	91	35	42	49	56	63	70	77	84	91	35	42	49	56	63	70	77	84	91			
84	35		276	266	262	253	244	236	228	219	203	192	184	176	168	160	151	142														
	42		245	239	232	225	218	211	205	198	185	174	165	161	160	159	154	145	138	131												
	49			215	209	203	196	192	186	180	170	159	150	142	135	137	148	145	137	130	124	117										
	56				186	182	178	173	166	164	155	146	138	130	123	117	120	133	135	126	122	116	111									
	63				174	171	168	164	160	156	148	140	133	126	119	113	107	103	113	122	118	114	110	105	100							
	70					153	150	147	144	141	135	128	122	116	109	104	99	94	89	96	106	103	99	96	92	89	85					
	77						133	131	129	128	121	118	110	105	100	95	90	85	81	77	84	92	89	86	83	80	78	71				
	84							116	114	113	108	104	99	95	90	84	78	74	70	65	61	68	76	73	70	67	64	58	55			
91								100	98	96	91	87	82	77	72	67	62	58	53	49	45	52	59	56	53	50	44	40	36	33		
91	35		250	242	233	226	219	212	205	199	186	176	169	161	154	147	139	132	125													
	42		215	212	207	201	195	189	183	178	166	159	149	144	143	142	141	137	130	123												
	49			180	186	182	177	172	167	162	153	144	136	129	123	122	125	128	126	119	113	108										
	56				165	162	158	154	151	146	138	131	124	117	111	105	106	111	116	117	113	109	104	99								
	63				156	154	151	146	145	141	134	127	121	114	108	103	98	93	95	102	104	100	97	94	90	87						
	70					137	134	132	129	127	121	115	109	104	99	94	89	84	80	77	84	91	89	86	83	80	77					
	77						120	118	116	114	110	104	100	95	91	86	81	77	74	70	67	74	80	78	75	73	71	67				
	84							104	103	101	97	95	89	85	81	77	73	70	66	63	59	64	70	67	65	62	59	54	51	48		
91								90	88	86	83	80	76	72	68	64	59	55	51	47	44	50	57	54	50	47	42	38	34	30	27	
98	42										162	155	150	144	139	132	129	130	128	123	118											
	49										154	149	144	138	133	128	121	116	113	109	106	102	98									
	56										136	132	128	123	120	115	109	103	96	95	92	89	85									
105	42										152	146	142	136	131	124	119	112	106	102	97	93										
	49										142	140	136	131	125	118	111	106	100	93	90	86	82									
	56										129	125	120	114	108	103	97	92	86	81	78	75	73	70								

14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74

A.4 Vergleich Krankosten

Montagevariante	Hebezeug	HA	NA	4 x A	Preis	Einsatzdauer	Gesamtpreis
		[m]	[m]	[€]	[€/h]	[h]	[€]
Einzelteilmontage	LTM 1500	47	91	11500	315	300	106000
Einzelteilmontage	CC 1500	72	66	18500	185	300	74000
Baugruppenmontage	LR 1400	63	72	25500	230	200	71500
Baugruppenmontage	LG 1550	77	63	40500	450	200	130500
komplette Vormontage	LR 1800	91	42	58000	600	10	64000

HA = Hauptausleger

NA = Nebenausleger

4 x A = Antransport, Aufbau, Abbau, Abtransport

A.5 Statische Nachweise der Auflageträger für die Plattformen auf Ebene +94m

Um einen Zugang an Montageplätze höher +94m zu schaffen, werden auf dieser Ebene Träger verankert, auf denen eine Plattform mit einer Arbeitsbühne gelagert wird.

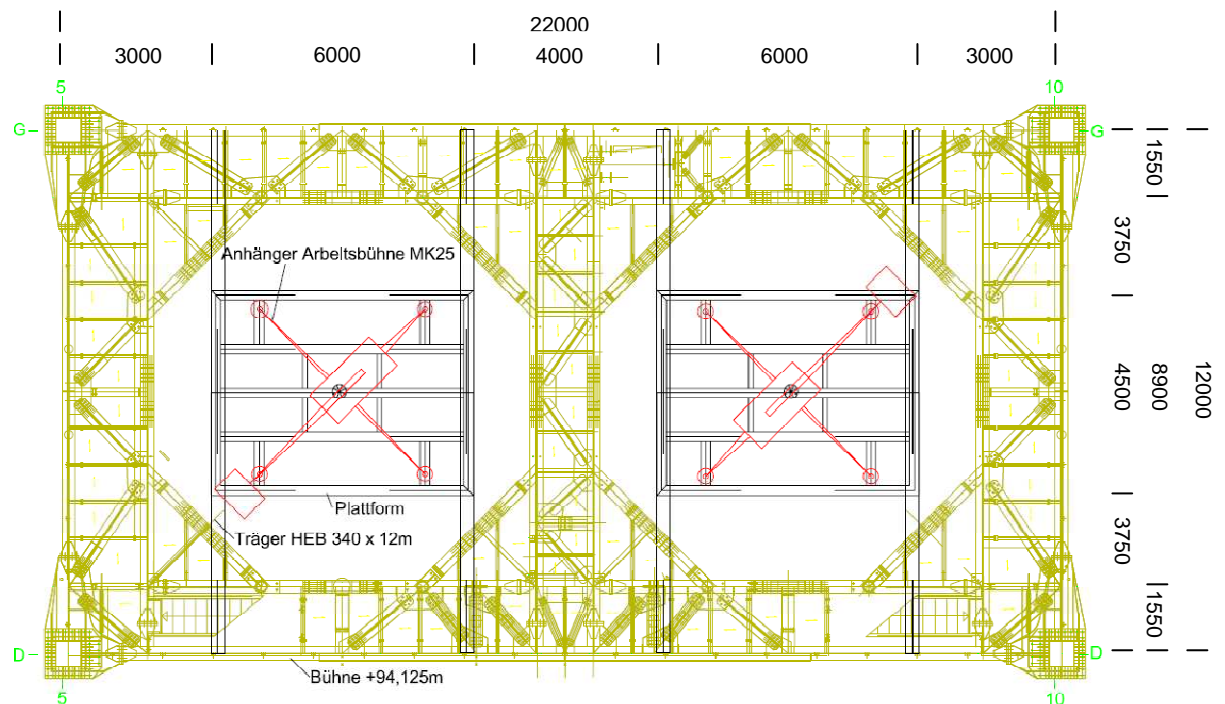
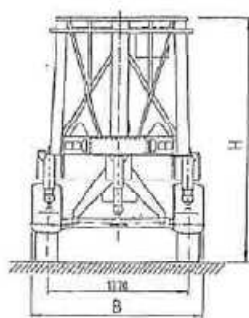
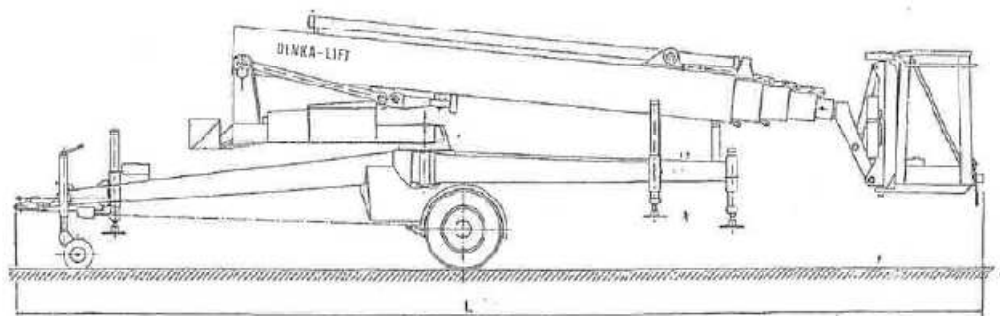


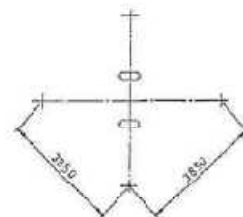
Abbildung: Standorte Anhängarbeitsbühnen MK25 auf Bühne +94,125 m

Es sollen HEB 340 Profile aus S235 verwendet werden, da diese bereits auf der Baustelle vorhanden sind. Für diese Profile sind die nötigen Nachweise zu erbringen, durchgeführt nach DIN 18800 im elastisch – plastischen Bereich. Auflagerpunkte sind die innen liegenden Hauptträger der Bühne, womit sich eine Stützweite von 8900 mm ergibt. Statische Berechnungen für die Plattformen sowie den sicheren Gebrauch der Arbeitsbühnen sind bereits vorhanden und werden nicht berücksichtigt. Zudem ist gewährleistet, dass die Konstruktion der REA die entstehenden Lasten aus den Hilfskonstruktionen abtragen kann. Windlasten sind in den von „Denka-Lift“ angegebenen Pratzendrücken enthalten, Schneelasten werden ausgeschlossen.

- **Datenblätter für Denka-Lift DK3 MK25**



Abstütz
des Lifes



Technische Daten

Typ	DENKA 1800	DENKA 1950	DENKA 2350	DENKA 2500
Bezeichnung	DK3 MK6	DK3 MK23	DK3 MK4	DK3 MK25

Leistungsmerkmale

Arbeitshöhe max.	18 m	19,5 m	23,5 m	25 m
Reichweite max.	11 m	11 m	10,5 m	10,5 m
Korblast max.	200 kg	200 kg	200 kg	200 kg
Pers. im Korb max.	2	2	2	2
Drehbereich	endlos	endlos	endlos	endlos

Transportmaße

Länge L	7,5/7,7/7,8 m	8 0/E,2/8,4 m	8,2/8,4/8,6 m	8,6/8,8/9,0 m
Höhe H	2,1 m	2,1 m	2,1 m	2,1 m
Breite B	1,6 m	1,6 m	1,6 m	1,6 m
Eigengewicht	2000 kg	2050 kg	2250 kg	2300 kg

Bauart/Antrieb

Teleskopausleger	4-teilig Alu	4-teilig Alu	5-teilig Alu	5-teilig Alu
------------------	--------------	--------------	--------------	--------------

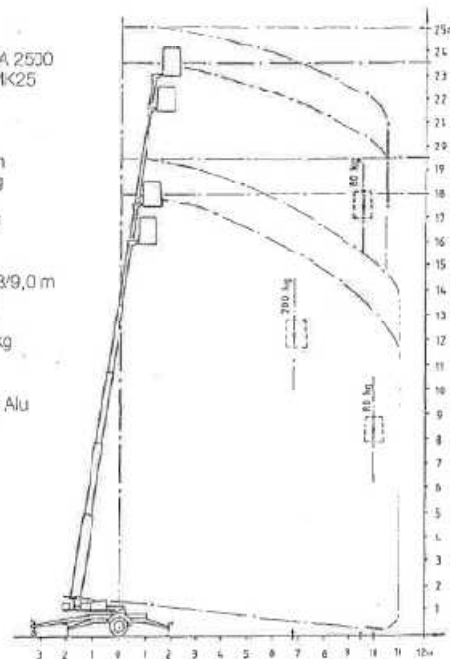
Batterien	24V-4 stck. 5V/240 Ah, 10 h, in reihe			
Ladesystem	220V/EA-24V/50 A			
Steuerung	Proportional, stufenlos			
Arbeitskorb	700x1200/700x1400			
Korbnivellierung	Automatisch, hydraulisch			

220 Volt Doppelschleuse im Arbeitskorb ist Standardausführung

Technische Änderungen vorbehalten.

Sonderausstattung

Hydraulische Selbstfahr-Antriebsrollen
Hochdruckleitung (Wasser/Luft/Hydraulik) zum Arbeitskorb
Gelbe Rundumkennleuchte
Betriebsstundenzähler
220 Volt Direkt-Netzbetrieb
380 Volt Direkt-Netzbetrieb
Mehrstufige Höhenabschaltung
Trenngitter im Arbeitskorb (abnehmbar)



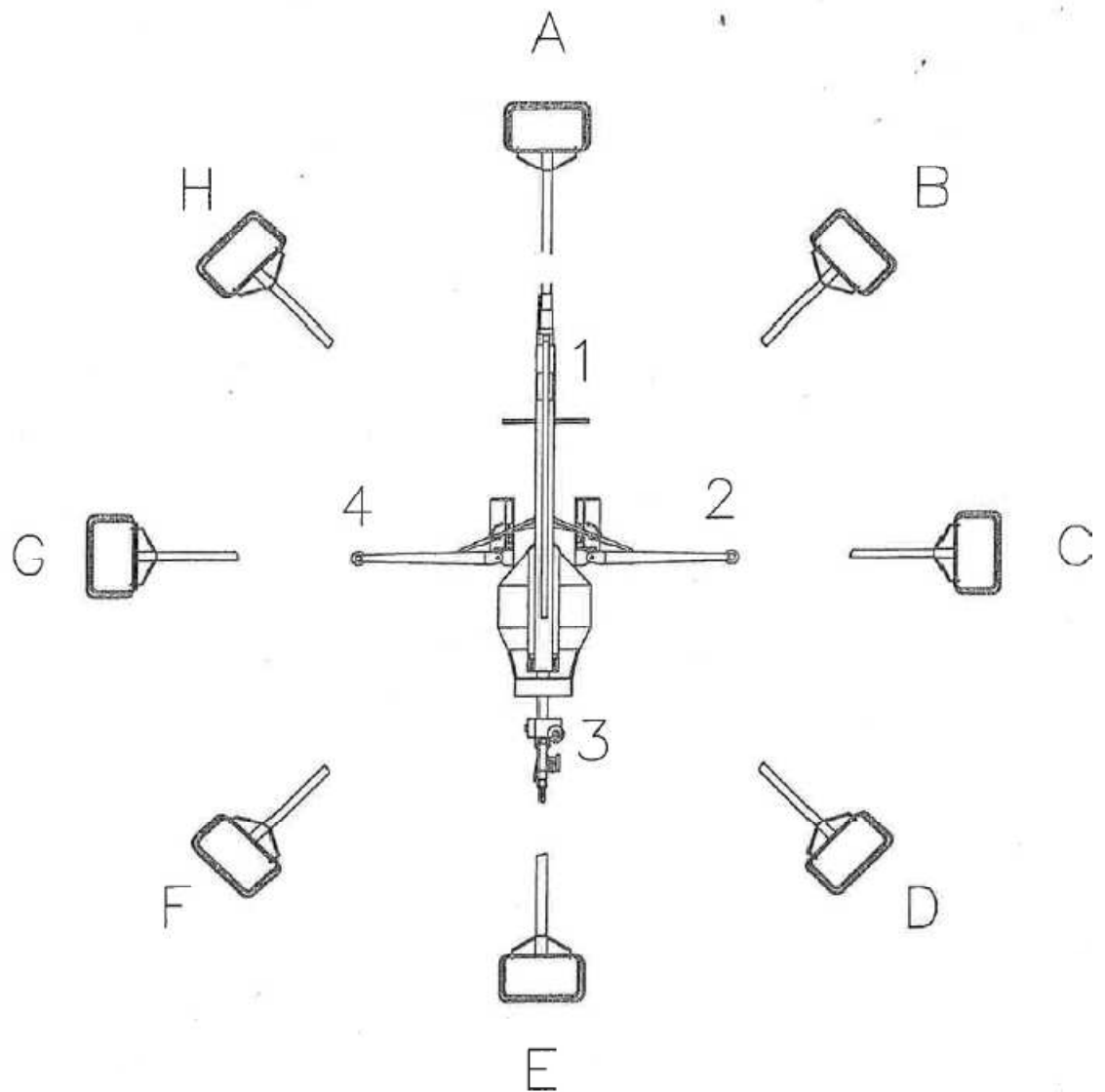
DENKA-LIFT

Hansen & Skov A/S

Rothlehner
ARBEITSBÜHNEN

Rothlehner Arbeitsbühnen GmbH
Muhlenweg 1, D-8332 Masing

Punktlasten DK25 (DK3 MK25)

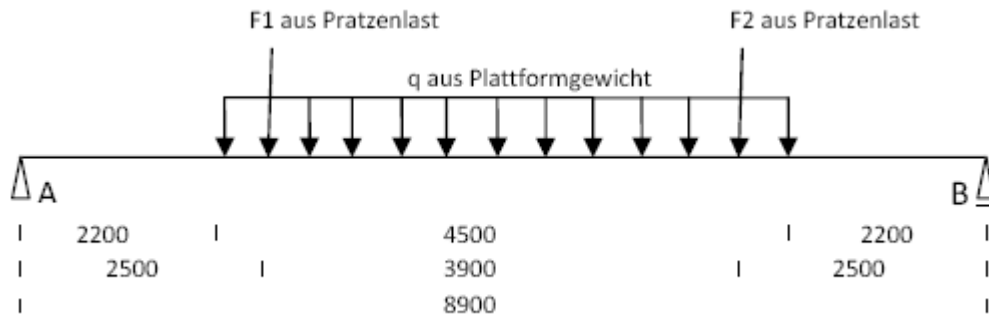


	1 (Kg)	2 (Kg)	3 (kg)	4 (kg)
A	1610	480	275	445
B	1360	940	440	70
C	1000	1120	660	30
D	690	900	1100	120
E	480	490	1320	520
F	690	120	1100	900
G	940	55	690	1125
H	1440	90	405	875

Eigengewicht	2450
--------------	------

Stützendruck maximal bei dynamischer Belastung inkl. Windlasten: ca. 1800 kg

- **statisches System**



- **auftretende Lasten**

Die Flächenlast q ergibt sich aus dem Eigengewicht der Plattform von 3,36 t und einer Auflagefläche von 4500 mm und verteilt sich auf 2 HEB 340 Profile. Sie ist als eine ständig einwirkende Kraft anzusehen und wird somit mit einem Lastfaktor von $\gamma_M = 1,35$ belegt.

$$q = \frac{33,6 \text{ kN}}{2} / 4,5 \text{ m} * 1,35 = 5,04 \text{ kNm}$$

Die Einzellasten $F1$ und $F2$ stellen die auftretenden Pratzendrücke dar, die je nach Stellung des Arbeitskorbes verschieden sind und aus dem Datenblatt der Arbeitsbühne entnommen werden. Dies sind veränderliche Lasten und werden mit einem Lastfaktor von $\gamma_M = 1,50$ belegt. Durch die Positionierung der Arbeitsbühne wirken jeweils die Pratzten A und B auf einen Träger sowie C und D. In den Berechnungen werden lediglich die Lasten aus Pratzte A und B verwendet, da diese maßgebend auf die Momenten- und Querkraftbildung sind. Diese Berechnungen werden anschließend mit dem Statikprogramm RSTAB 5.12.058 durchgeführt. Nach der Multiplikation mit dem Lastfaktor γ_M ergeben sich folgende Werte für die Pratztenlasten.

Lastfall	Pratztenlast F1 [kN]	Pratztenlast F2 [kN]
A	24,15	7,20
B	20,40	14,10
C	15,00	16,80
D	10,35	13,50
E	7,20	7,35
F	10,35	1,80
G	14,10	0,83
H	17,10	1,35

Abbildung: Pratztenlasten F_d



Projekt: Namenlos	Position: REA Moorburg	Seite: 1 13.12.2010
--------------------------	----------------------------------	----------------------------

INHALT

Inhalt	1
Strukturdaten	
Materialien	1
Querschnitte	1
Stäbe	1
Auflager	1
Belastungen	
Basisangaben der Lastfälle	1
LF 1 - Lastfall C	1
LF 2 - Lastfall A	2
LF 3 - Lastfall B	2
LF 4 - Lastfall D	2
LF 5 - Lastfall E	2
LF 6 - Lastfall F	2
LF 7 - Lastfall G	2
LF 8 - Lastfall H	2
LF-, LG-Ergebnisse	
Schnittgrößen querschnittsbezogen	3
Auflagerkräfte und -momente	4

MATERIALIEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/cm ²]	Schubmodul [kN/cm ²]	Sp. Gewicht [kN/cm ³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	8.100E+03	7.850E-05	1.200E-05

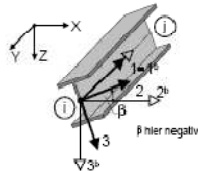
QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mat.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I _z [cm ⁴]	A [cm ²]	A ₃ [cm ²]
1	1	HE-B 340	36660.00	171.000	

HE-B 340



Lokales Stabachsensystem



STÄBE

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten Anf.	Knoten Ende	Beta [°]	Querschnitt Anf.	Querschnitt Ende	Gelenk Anf.	Gelenk Ende	Teil.-Nr.	Länge [cm]	Stab-lage
1	Balken	1	2	0.0	1	1	-	-	-	890.00	HORI

AUFLAGER

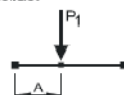
Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°]		Festes Auflager bzw. Feder [kN/cm] [kNm/rad]					
		Alpha	Beta	in X	in Y	in Z	um X	um Y	um Z
1	1	0.0	0.0	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
2	2	0.0	0.0	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja

BELASTUNG

BASISANGABEN DER LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Lastfall C	1.00	Veränderlich	1.00
2	Lastfall A	1.00	Veränderlich	1.00
3	Lastfall B	1.00	Veränderlich	1.00
4	Lastfall D	1.00	Veränderlich	1.00
5	Lastfall E	1.00	Veränderlich	1.00
6	Lastfall F	1.00	Veränderlich	1.00
7	Lastfall G	1.00	Veränderlich	1.00
8	Lastfall H	1.00	Veränderlich	1.00

2 - Einzellast



STABLASTEN

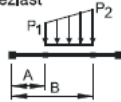
LF 1

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter P1 [kN, kNm, m, °, kN/m, kNm/m]	P2	A	B
1	1	4	Z	5.040	5.040	2.200	6.700
2	1	2	Z	16.800		2.500	
3	1	2	Z	15.000		6.400	

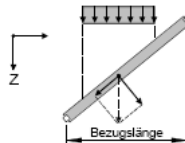


Projekt: Namenlos	Position: REA Moorburg	Seite: 2 13.12.2010
--------------------------	----------------------------------	----------------------------

4 - Trapezlast



Z - Global in Z-Richtung



STABLASTEN

LF 2

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m]			
				P1	P2	A	B
1	1	4	Z	5,040	5,040	2,200	6,700
2	1	2	Z	7,200		2,500	
3	1	2	Z	24,150		6,400	

STABLASTEN

LF 3

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m]			
				P1	P2	A	B
1	1	2	Z	21,400		6,400	
2	1	2	Z	14,100		2,500	
3	1	4	Z	5,040	5,040	2,200	6,700

STABLASTEN

LF 4

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m]			
				P1	P2	A	B
1	1	4	Z	5,040	5,040	2,200	6,700
2	1	2	Z	13,500		2,500	
3	1	2	Z	10,350		6,400	

STABLASTEN

LF 5

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m]			
				P1	P2	A	B
1	1	2	Z	7,200		6,400	
2	1	2	Z	7,350		2,500	
3	1	4	Z	5,040	5,040	2,200	6,400

STABLASTEN

LF 6

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m]			
				P1	P2	A	B
1	1	4	Z	5,040	5,040	2,200	6,700
2	1	2	Z	1,800		2,500	
3	1	2	Z	10,350		6,400	

STABLASTEN

LF 7

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m]			
				P1	P2	A	B
1	1	2	Z	14,100		6,400	
2	1	2	Z	0,825		2,500	
3	1	4	Z	5,040	5,040	2,200	6,700

STABLASTEN

LF 8

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °C, kN/m, kNm/m]			
				P1	P2	A	B
1	1	4	Z	5,040	5,040	2,200	6,700



Projekt: Namenlos	Position: REA Moorburg	Seite: 3 13.12.2010
-------------------	---------------------------	------------------------

BELASTUNG

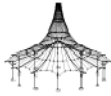
STABLASTEN

LF 8

Nr.	Belastete Stäbe	Lasttyp Nr.	Last-Richtung	Parameter [kN, kNm, m, °, kNm/m, kNm/m]			
				P1	P2	A	B
2	1	2	Z	21.600		6.400	
3	1	2	Z	1.350		2.500	

SCHNITTGRÖSSEN QUERSCHNITTSBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [cm]	N	Kräfte [kN]		Momente [kNm]		
					Q2	Q3	T	M2	M3
Querschnitt-Nr. 1: HE-B 340									
1	LF1	1	.0	.00	.00	33.61	.00	.00	.00
		links	250.0	.00	.00	28.74	.00	79.60	.00
		rechts	250.0	.00	.00	11.94	.00	79.60	.00
		links	640.0	.00	.00	-12.95	.00	77.63	.00
		rechts	640.0	.00	.00	-27.95	.00	77.63	.00
		2	890.0	.00	.00	-32.82	.00	.00	.00
		Max N	.0	.00	.00	33.61	.00	.00	.00
		Min N	.0	.00	.00	33.61	.00	.00	.00
		Max Q-3	.0	.00	.00	33.61	.00	.00	.00
		Min Q-3	890.0	.00	.00	-32.82	.00	.00	.00
		Max M-2	445.0	.00	.00	-51	.00	90.75	.00
		Min M-2	890.0	.00	.00	-32.82	.00	.00	.00
	LF2	1	.0	.00	.00	29.27	.00	.00	.00
		links	250.0	.00	.00	24.41	.00	68.77	.00
		rechts	250.0	.00	.00	17.21	.00	68.77	.00
		links	640.0	.00	.00	-7.68	.00	87.33	.00
		rechts	640.0	.00	.00	-31.83	.00	87.33	.00
		2	890.0	.00	.00	-36.70	.00	.00	.00
		Max N	.0	.00	.00	29.27	.00	.00	.00
		Min N	.0	.00	.00	29.27	.00	.00	.00
		Max Q-3	.0	.00	.00	29.27	.00	.00	.00
		Min Q-3	890.0	.00	.00	-36.70	.00	.00	.00
		Max M-2	534.0	.00	.00	-92	.00	91.89	.00
		Min M-2	890.0	.00	.00	-36.70	.00	.00	.00
	LF3	1	.0	.00	.00	33.46	.00	.00	.00
		links	250.0	.00	.00	28.90	.00	79.24	.00
		rechts	250.0	.00	.00	14.80	.00	79.24	.00
		links	640.0	.00	.00	-10.40	.00	87.24	.00
		rechts	640.0	.00	.00	-31.80	.00	87.24	.00
		2	890.0	.00	.00	-36.66	.00	.00	.00
		Max N	.0	.00	.00	33.46	.00	.00	.00
		Min N	.0	.00	.00	33.46	.00	.00	.00
		Max Q-3	.0	.00	.00	33.46	.00	.00	.00
		Min Q-3	890.0	.00	.00	-36.66	.00	.00	.00
		Max M-2	489.5	.00	.00	-79	.00	95.65	.00
		Min M-2	.0	.00	.00	33.46	.00	.00	.00
	LF4	1	.0	.00	.00	29.93	.00	.00	.00
		links	250.0	.00	.00	25.06	.00	70.40	.00
		rechts	250.0	.00	.00	11.56	.00	70.40	.00
		links	640.0	.00	.00	-13.33	.00	66.95	.00
		rechts	640.0	.00	.00	-23.68	.00	66.95	.00
		2	890.0	.00	.00	-28.55	.00	.00	.00
		Max N	.0	.00	.00	29.93	.00	.00	.00
		Min N	.0	.00	.00	29.93	.00	.00	.00
		Max Q-3	.0	.00	.00	29.93	.00	.00	.00
		Min Q-3	890.0	.00	.00	-28.55	.00	.00	.00
		Max M-2	445.0	.00	.00	-88	.00	80.81	.00
		Min M-2	890.0	.00	.00	-28.55	.00	.00	.00
	LF5	1	.0	.00	.00	24.22	.00	.00	.00
		links	250.0	.00	.00	19.35	.00	56.13	.00
		rechts	250.0	.00	.00	12.00	.00	56.13	.00
		links	640.0	.00	.00	-12.89	.00	54.41	.00
		rechts	640.0	.00	.00	-20.09	.00	54.41	.00
		2	890.0	.00	.00	-23.44	.00	.00	.00
		Max N	.0	.00	.00	24.22	.00	.00	.00
		Min N	.0	.00	.00	24.22	.00	.00	.00
		Max Q-3	.0	.00	.00	24.22	.00	.00	.00
		Min Q-3	890.0	.00	.00	-23.44	.00	.00	.00
		Max M-2	445.0	.00	.00	-44	.00	67.41	.00
		Min M-2	.0	.00	.00	24.22	.00	.00	.00
	LF6	1	.0	.00	.00	21.52	.00	.00	.00
		links	250.0	.00	.00	16.65	.00	49.37	.00
		rechts	250.0	.00	.00	14.85	.00	49.37	.00
		links	640.0	.00	.00	-10.04	.00	58.73	.00
		rechts	640.0	.00	.00	-20.39	.00	58.73	.00
		2	890.0	.00	.00	-25.26	.00	.00	.00
		Max N	.0	.00	.00	21.52	.00	.00	.00
		Min N	.0	.00	.00	21.52	.00	.00	.00
		Max Q-3	.0	.00	.00	21.52	.00	.00	.00
		Min Q-3	890.0	.00	.00	-25.26	.00	.00	.00
		Max M-2	489.5	.00	.00	-44	.00	66.62	.00
		Min M-2	.0	.00	.00	21.52	.00	.00	.00
	LF7	1	.0	.00	.00	21.87	.00	.00	.00
		links	250.0	.00	.00	17.00	.00	50.25	.00
		rechts	250.0	.00	.00	16.17	.00	50.25	.00
		links	640.0	.00	.00	-8.72	.00	64.79	.00
		rechts	640.0	.00	.00	-22.82	.00	64.79	.00
		2	890.0	.00	.00	-27.68	.00	.00	.00



Projekt: Namenlos	Position: REA Moorburg	Seite: 4 13.12.2010
-------------------	---------------------------	------------------------

ERGEBNISSE

SNITTGRÖSSEN QUERSCHNITTSBEZOGEN

Stab-Nr.	LF/LG-Nr.	Knoten-Nr.	x [cm]	N	Kräfte [kN] Q ₂	Q ₃	T	Momente [kNm] M ₂	M ₃
1	LF7	Max N	.0	.00	.00	21.87	.00	.00	.00
		Min N	.0	.00	.00	21.87	.00	.00	.00
		Max Q-3	.0	.00	.00	21.87	.00	.00	.00
		Min Q-3	890.0	.00	.00	-27.68	.00	.00	.00
		Max M-2	489.5	.00	.00	.89	.00	70.68	.00
		Min M-2	.0	.00	.00	21.87	.00	.00	.00
	LF8	1	.0	.00	.00	24.35	.00	.00	.00
		links	250.0	.00	.00	19.48	.00	56.46	.00
		rechts	250.0	.00	.00	18.13	.00	56.46	.00
		links	640.0	.00	.00	-6.76	.00	78.64	.00
		rechts	640.0	.00	.00	-28.36	.00	78.64	.00
		2	890.0	.00	.00	-33.23	.00	.00	.00
		Max N	.0	.00	.00	24.35	.00	.00	.00
		Min N	.0	.00	.00	24.35	.00	.00	.00
		Max Q-3	.0	.00	.00	24.35	.00	.00	.00
		Min Q-3	890.0	.00	.00	-33.23	.00	.00	.00
		Max M-2	534.0	.00	.00	.01	.00	82.23	.00
		Min M-2	.0	.00	.00	24.35	.00	.00	.00
1	LF1	MAX N	.0	.00	.00	33.61	.00	.00	.00
1	LF1	MIN N	.0	.00	.00	33.61	.00	.00	.00
1	LF1	MAX Q-3	.0	.00	.00	33.61	.00	.00	.00
1	LF2	MIN Q-3	890.0	.00	.00	-36.70	.00	.00	.00
1	LF3	MAX M-2	489.5	.00	.00	.79	.00	95.65	.00
1	LF1	MIN M-2	890.0	.00	.00	-32.82	.00	.00	.00

AUFLAGERKRÄFTE UND -MOMENTE

Knoten-Nr.	LF/LG-Nr.	Auflagerkräfte [kN]			Auflagemomente [kNm]		
		P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z
1	LF1	.000	.000	33.608	.000	.000	.000
	LF2	.000	.000	29.275	.000	.000	.000
	LF3	.000	.000	33.464	.000	.000	.000
	LF4	.000	.000	29.929	.000	.000	.000
	LF5	.000	.000	24.222	.000	.000	.000
	LF6	.000	.000	21.515	.000	.000	.000
	LF7	.000	.000	21.867	.000	.000	.000
	LF8	.000	.000	24.352	.000	.000	.000
2	LF1	.000	.000	32.619	.000	.000	.000
	LF2	.000	.000	36.702	.000	.000	.000
	LF3	.000	.000	36.663	.000	.000	.000
	LF4	.000	.000	28.548	.000	.000	.000
	LF5	.000	.000	23.443	.000	.000	.000
	LF6	.000	.000	25.262	.000	.000	.000
	LF7	.000	.000	27.685	.000	.000	.000
	LF8	.000	.000	33.225	.000	.000	.000
ΣLasten	LF1	.000	.000	66.427			
ΣKräfte		.000	.000	66.427			
ΣLasten	LF2	.000	.000	65.977			
ΣKräfte		.000	.000	65.977			
ΣLasten	LF3	.000	.000	70.127			
ΣKräfte		.000	.000	70.127			
ΣLasten	LF4	.000	.000	58.477			
ΣKräfte		.000	.000	58.477			
ΣLasten	LF5	.000	.000	47.665			
ΣKräfte		.000	.000	47.665			
ΣLasten	LF6	.000	.000	46.777			
ΣKräfte		.000	.000	46.777			
ΣLasten	LF7	.000	.000	49.552			
ΣKräfte		.000	.000	49.552			
ΣLasten	LF8	.000	.000	57.577			
ΣKräfte		.000	.000	57.577			

Somit ergeben sich folgende Maximalbelastungen für die HEB 340 Träger:

$$M_{\max} = 95,65 \text{ kNm aus Lastfall 3}$$

$$Q_{\max} = 36,70 \text{ kN aus Lastfall 2}$$

- Kennwerte HEB 340**

$I_y = 36600 \text{ cm}^4$	$I_z = 9690 \text{ cm}^4$
$W_y = 2160 \text{ cm}^3$	$W_z = 646 \text{ cm}^3$
$t = 21,5 \text{ mm}$	$s = 12 \text{ mm}$
$b = 300 \text{ mm}$	$h = 340 \text{ mm}$
$M_{Pl,y,d} = 537 \text{ kNm}$	$E = 21000 \text{ cm}^6$

- zulässige Spannungen**

$$\gamma_M = 1,1 \quad \sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M * \sqrt{3}}$$

S235:

$$f_{y,k} = 24,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{R,d} = \frac{24,0}{1,1} = 21,82 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{R,d} = \frac{24,0}{1,1 * \sqrt{3}} = 12,60 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

- Spannungsnachweise**

$$\sigma = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \text{NW: } \frac{\sigma}{\sigma_{R,d}} \leq 1$$

$$\sigma = \frac{9565 \text{ kNcm}}{2160 \text{ cm}^3} = 4,43 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{NW: } \frac{4,43 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{21,82 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,20 \leq 1 \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

$$\tau = \frac{Q_{\max}}{A_{\text{Steg}}} \quad \text{NW: } \frac{\tau}{\tau_{R,d}} \leq 1$$

$$A_{\text{Steg}} = (h - t) * s \quad A_{\text{Steg}} = (34 \text{ cm} - 2,15 \text{ cm}) * 1,2 \text{ cm} = 38,22 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{36,70 \text{ kN}}{38,22 \text{ cm}^2} = 0,96 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{NW: } \frac{0,96 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{12,60 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,08 \leq 1 \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

- **Biegedrillknicknachweis**

$$\text{NW: } \frac{M_{y,d}}{\kappa_M * M_{pl,y,d}} \leq 1$$

$h = 340 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \rightarrow$ Der Nachweis darf mit der vereinfachten Form von $M_{Ki,y,d}$ durchgeführt werden.

$$M_{Ki,y,d} = \frac{1,32 * b * t * E * I_y}{l * h^2 * \gamma_M}$$

$$M_{Ki,y,d} = \frac{1,32 * 30 \text{ cm} * 2,15 \text{ cm} * 21000 \text{ kN/cm}^2 * 36600 \text{ cm}^4}{890 \text{ cm} * 34^2 \text{ cm}^2 * 1,1} = 57822,1 \text{ kNcm}$$

$$\overline{\lambda}_M = \sqrt{M_{pl,y,d} / M_{Ki,y,d}}$$

$$\overline{\lambda}_M = \sqrt{\frac{537 \text{ kNm}}{578,2 \text{ kNm}}} = 0,964$$

unausgeklinkter Träger $\rightarrow n = 2,5$ (Quelle: Schneider Tafel 8.43b)

$\kappa_M = 0,79$ (Quelle: Schneider Tafel 8.44)

$$\text{NW: } \frac{95,65 \text{ kNm}}{0,79 * 537 \text{ kNm}} = 0,23 \leq 1 \quad \textbf{Nachweis erfüllt}$$

- **Beulnachweis**

Es wirkt reine Biegebeanspruchung auf den Träger $\rightarrow M_y \neq 0; N = 0$

$$\text{grenz (b/t)} = 133 \sqrt{\frac{240}{\sigma * \gamma_M}}$$

$$\text{grenz (b/t)} = 133 \sqrt{\frac{240}{44,3 \frac{N}{\text{mm}^2} * 1,1}} = 295,2$$

vorh (b/t) = 20,3 (Quelle: Schneider Tafel 8.12)

vorh (b/t) = 20,3 \leq 295,2 = grenz (b/t) \rightarrow Nachweis gegen Beulen nicht erforderlich

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einfluss des Stückgewichts auf Montagestunden, Montagekosten und Gesamtpreis einer Stahlbaukonstruktion	5
Abbildung 2: Übersicht Kranarten	19
Abbildung 3: Liebherr-Mobilkran LTM 11200-9.1	21
Abbildung 4: Liebherr-Raupenkran LR 1300	22
Abbildung 5: TDK mit Katzausleger (links); TDK mit Nadelausleger (rechts) ...	25
Abbildung 6: Übersicht Fachwerkgerüst mit Bühnen.....	30
Abbildung 7: Baugruppe Stützen.....	32
Abbildung 8: oben: Riegel Achse D und G; unten: Riegel Achse 5 und 10	33
Abbildung 9: Baugruppe Diagonalen der Achsen D; G; 5; 10	33
Abbildung 10: Baugruppe Bühne der Ebene +103,675m und +113,225m	34
Abbildung 11: Grundriss der Baustelle	35
Abbildung 12: mögliche Anwendung von Spannschlössern	37
Abbildung 13: Ablauf „Einzelteilmontage“	38
Abbildung 14: Standorte der Anhängerarbeitsbühnen MK 25 auf Bühne +94,125m	39
Abbildung 15: Ablauf „Baugruppenmontage“ (Möglichkeit 1)	40
Abbildung 16: Ablauf „Baugruppenmontage“ (Möglichkeit 2)	41
Abbildung 17: Ablauf „Baugruppenmontage“ (Möglichkeit 3)	42
Abbildung 18: Ablauf „Baugruppenmontage“ (Möglichkeit 4)	43
Abbildung 19: Ablauf „komplette Vormontage“	45
Abbildung 20: Übersicht Stundensätze für Arbeitskräfte und Gerätschaften....	46
Abbildung 21: Zeitliste für das Verschrauben der Konstruktion.....	47
Abbildung 22: Zeitablaufplan „Einzelteilmontage“	48
Abbildung 23: Ermittlung Arbeitsstunden „Einzelteilmontage“	49
Abbildung 24: Übersicht der Kosten für die „Einzelteilmontage“	50
Abbildung 25: Zeitablaufplan für die Baugruppenmontage	52
Abbildung 26: Ermittlung Arbeitsstunden „Baugruppenmontage“ Teil 1 von 2 .	53
Abbildung 27: Ermittlung Arbeitsstunden „Baugruppenmontage“ Teil 2 von 2 .	54
Abbildung 28: Übersicht der Kosten für die „Baugruppenmontage“	55

Abbildung 29: Zeitablaufplan „komplette Vormontage“	56
Abbildung 30: Ermittlung Arbeitsstunden„komplette Vormontage“Teil 1 von 3.	57
Abbildung 31: Ermittlung Arbeitsstunden„komplette Vormontage“Teil 2 von 3.	58
Abbildung 32: Ermittlung Arbeitsstunden„komplette Vormontage“Teil 3 von 3.	59
Abbildung 33: Übersicht der Kosten für die „komplette Vormontage“.....	60
Abbildung 34: Vergleich I	72
Abbildung 35: Ergebnisse zur Abhängigkeit der Stückgewichte zu Mon- tagestunden und Montagekosten aus dem Beispiel der REA ...	73
Abbildung 36: Ergebnisse zur Abhängigkeit der Stückgewichte zu Montagestunden und Montagekosten aus dem „Handbuch der Stahlbaumontage“.....	73
Abbildung 37: Kostensplittung der Montagevarianten	74
Abbildung 38: Vergleich II	76
Abbildung 39: Vergleich III	76
Abbildung 40: Vergleich IV	77
Abbildung 41: Vergleich V	77
Abbildung 42: Vergleich VI.....	77
Abbildung 43: Vergleich VII.....	78
Abbildung 44: Vergleich VIII.....	78
Abbildung 45: Platzierungen der Vergleiche II - VIII.....	79

Literaturverzeichnis

- [1] Petzschmann; Skufca: Handbuch der Stahlbaumontage. 2., überarbeitete Auflage. Düsseldorf: Stahlbau- Verlagsgesellschaft mbH, 2000
- [2] Kuhlmann, Ulrike: Stahlbau Kalender 2000. Düsseldorf: Stahlbau- Verlagsgesellschaft mbH, 2000
- [3] Stahlbau Handbuch. Düsseldorf: Stahlbau- Verlagsgesellschaft mbH, 2000
- [4] Petzschmann; Bauer: Handbuch der Stahlbaumontage. Düsseldorf: Stahlbau- Verlagsgesellschaft mbH, 1991
- [5] Schmidt; Zwätz; Bär, Schulte: Ausführung von Stahlbauten. Berlin: Beuth Verlag, 2005
- [6] Peschel: Ingenieurtechnische Entscheidungen. 1., Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik
- [7] Schneider: Bautabellen für Ingenieure. 17., Auflage. Neuwied: Werner-Verlag
- [8] RATIO-mittelkatalog der Firma IMO-Leipzig GmbH
- [9] Stücklisten zum Projekt REA aus dem Programm Steel Office
- [10] Homepage der Firma Wiley VCH. URL:
<http://www.wiley-vch.de/books/sample/3527306269_c01.pdf>, verfügbar am: 4.10.2010

- [11] Homepage der Firma Google. URL:
<http://books.google.de/books?id=4ZtUs_V8jkwC&pg=PA80&lpg=PA80&dq=montageverfahren+im+Stahlbau&source=bl&ots=PoQhzc6qN&sig=mzxRiTxfMybksvZMNSmUj1s2lic&hl=de&ei=5wRLS5X7JNOEsAa-vqS0Aw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CBYQ6AEwAT-ge#v=onepage&q=montageverfahren%20im%20Stahlbau&f=false>,
verfügbar am: 4.10.2010
- [12] Homepage der Firma Wiley VCH. URL:
<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/stab.200710026/abstract>>,
verfügbar am: 6.10.2010
- [13] Homepage der Firma Liebherr. URL:
<http://www.liebherr.com/AT/de-DE/products_at.wfw/id-8607-0/measure-metric> , verfügbar am: 20.10.2010
- [14] Homepage der Firma Liebherr. URL:
<http://www.liebherr.com/CR/de-DE/products_cr.wfw/id-8709-0/measure-metric/tab-6015_14> , verfügbar am: 20.10.2010
- [15] Homepage der Firma Liebherr. URL:
<http://www.liebherr.com/CC/de-DE/region-%28europe%29/products_cc.wfw/id-12545-0/measure-metric/tab-1250_1285> , verfügbar am: 20.10.2010
- [16] Homepage der Firma Liebherr. URL:
<http://www.liebherr.com/CC/de-DE/region-%28europe%29/products_cc.wfw/id-12496-0/measure-metric> ,
verfügbar am: 20.10.2010

- [17] Homepage der Firma LASTEN-flug.de. URL:
<<http://www.lasten-flug.de/lasten/startseite/index.html>>, verfügbar am:
14.10.2010
- [18] Homepage der Firma Colonia. URL:
<<http://www.colonia-spezialfahrzeuge.de/downloads/handbuch/CC-1500.pdf>>, verfügbar am: 16.11.2010
- [19] Homepage der Firma Liebherr. URL:
<http://www.liebherr.com/CR/de-DE/products_cr.wfw/id-1090-0/measure-metric/tab-1458_1504>, verfügbar am: 16.11.2010
- [20] Homepage der Firma Mammoet. URL:
<<http://www.mammoet.com/LinkClick.aspx?fileticket=HQ7Mi-gmlzQ%3d&tabid=688&mid=491>>, verfügbar am 16.11.2010
- [21] Homepage der Firma Vattenfall. URL:
<<http://www.vattenfall.de/de/schutz-der-umwelt.htm>>, verfügbar am:
5.10.2010

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Zuhilfenahme der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt wurde.

Niesky, den 16.12.2010

Stefan Böhme